

UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID

ESCUELA POLITECNICA SUPERIOR

**INGENIERÍA TÉCNICA INDUSTRIAL
MECÁNICA**

Proyecto Fin de Carrera

**Instalación Solar para Agua Caliente Sanitaria
en Edificio Residencial Multifamiliar
en Alicante**

Autor: Samuel Pintado Pérez
Tutor: D. Pedro Acisclo Rodríguez Aumente

Septiembre 2011



INDICE

I.	INTRODUCCIÓN	3
I.1	INTRODUCCION	4
II.	OBJETIVOS	6
II.1	OBJETIVOS	7
III.	CALCULO DE LA DEMANDA ENERGETICA	8
III.1	DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO	9
III.2	CÁLCULO DE LA DEMANDA ENERGETICA	9
IV.	PREDIMENSIONAMIENTO DE LA INSTALACIÓN.....	18
IV.1	CALCULO DE LA FRACCION SOLAR.....	19
IV.2	ESTIMACION DEL AREA NECESARIA MEDIANTE MEDIA ANUAL.....	21
IV.3	ESQUEMA DE LA INSTALACION.....	27
IV.4	PROPIEDADES DE LA MEZCLA GLICOL/AGUA	28
IV.5	DIMENSIONADO ANUAL SIN TENER EN CUENTA EL VIENTO MEDIANTE MATHCAD.....	31
IV.6	DIMENSIONADO ANUAL TENIENDO EN CUENTA EL VIENTO	35
IV.7	DIMENSIONADO MENSUAL SIN TENER EN CUENTA EL VIENTO MEDIANTE MATHCAD	47
IV.8	DIMENSIONADO EN MEDIA MENSUAL TENIENDO EN CUENTA LAS PERDIDAS DEBIDAS AL VIENTO	50
V.	DIMENSIONADO DE LA INSTALACION.....	62
VI.	ESTUDIO MEDIOAMBIENTAL.....	77
VII.	ESTUDIO ECONOMICO	81
VIII.	CONCLUSIONES	86
IX.	BIBLIOGRAFIA	88
X.	ANEXOS	90



Tabla 1: Consumo de distintos tipos de Energía según sector año 2008	5
Tabla 2: Demanda de referencia a 60°C.....	10
Tabla 3: Temperatura media de agua de red.	11
Tabla 4: Ocupación en un edificio de viviendas multifamiliares.....	12
Tabla 4: Propiedades termo físicas de la materia.....	14
Tabla 6: Radiación solar global anual.....	19
Tabla 7: Zonas climáticas en España.....	20
Tabla 8: Contribución solar mínima en %. Caso General.....	21
Tabla 9: Irradiación en W/m ² en el plano horizontal.....	23
Tabla 10: Horas de sol en media mensual en Alicante.....	25
Tabla 11: Irradiación horaria en Kw·h/m ²	26
Tabla 13: Constantes para el cálculo de parámetros físicos del propilenglicol.....	29
Tabla 14: Resultados del sistema de ecuaciones para media anual sin tener en cuenta el viento... 34	34
Tabla 15: Resultados del sistema de ecuaciones para media anual sin tener en cuenta el viento... 34	34
Tabla 16: Velocidad media del viento por meses en Alicante/ El Altet.....	42
Tabla 17: Dirección predominante del viento en Alicante según el mes.....	43
Tabla 18: Resultados del sistema de ecuaciones para media anual con pérdidas por viento.....	46
Tabla 19: Resultados del sistema de ecuaciones para media anual sin pérdidas por viento.....	46
Tabla 20: Temperatura ambiente en media mensual en Alicante.....	48
Tabla 21: Factor de corrección k para ángulo inclinado.....	49
Tabla 22: Resultados en cálculo mensual sin pérdidas por viento.....	49
Tabla 23: Re sobre los colectores en cada mes.....	50
Tabla 24: Resultados mensuales rama inferior.....	51
Tabla 25: Resultados mensuales rama útil.....	53
Tabla 26: Resultados mensuales rama superior.....	56
Tabla 27: Pérdidas de calor mensuales.....	57
Tabla 28: Resultados del sistema de ecuaciones para media mensual teniendo en cuenta las pérdidas por viento.....	58
Tabla 29: Calculo de constantes C y m.....	72
Tabla 30: Longitud equivalente en accesorios de tuberías.....	73
Tabla 31: Relación entre energía necesaria y aportada por el sistema solar.....	78
Tabla 32: Composición química del gas natural en porcentaje.....	79
Tabla 33: Composición química del gas natural en moles.....	79
Tabla 34: Precio del gas natural en España.....	82
Tabla 35: VAN para cada año.....	84

I. INTRODUCCIÓN



1.1 INTRODUCCION

Es cada vez más evidente, sobre todo en los últimos años, que la sociedad actual depende cada año en mayor medida de la energía derivada del petróleo debido al gran crecimiento de la población mundial, sobrepasando en los primeros años del siglo XXI la barrera de 6.700 millones de habitantes en el planeta, siendo la tendencia a continuar en aumento en los próximos años.

Por otro lado, es notorio que el uso del petróleo está abocado a desaparecer desde el momento en el que es un recurso finito y no renovable a corto plazo, geológicamente hablando. Adicionalmente, el petróleo genera graves y profundos problemas medioambientales, desde su extracción pasando por el transporte y refinado, y acabando en su consumo y los gases resultantes del mismo.

Asimismo el carbón, el cual aun es usado para producir hasta un tercio de la electricidad en Europa mediante su combustión en centrales térmicas y en pleno apogeo en toda Asia debido a su disponibilidad dado que no se había explotado sus yacimientos hasta fechas recientes, aun dedicando esfuerzos considerables a desarrollar tecnologías de combustión limpia de carbón para ser implantadas en las próximas décadas, resulta altamente contaminante produciendo efectos conocidos como la lluvia ácida. Asimismo, aunque en menor medida, el gas natural también es un recurso finito y que crea problemas medioambientales.

Se ha intentando buscar la solución desde muchos ámbitos, no siendo definitivo ninguno de ellos, por diversos motivos, como la proliferación de energía nuclear basada en la fisión del átomo de Uranio para uso civil por culpa de la dificultad de tratar los residuos radiactivos así como la mala imagen que de dicha energía se tiene en la sociedad que ha luchado por impedir la creación de nuevas centrales y de cementerios nucleares, hasta el coste elevado de otras alternativas como la energía mareomotriz o la geotermia y el de otras energías renovables, o la falta de desarrollo tecnológico que nos permitirían las centrales de fusión nuclear.

También es cierto que hay otras alternativas que si se están teniendo éxito como la energía eólica la cual está teniendo un gran desarrollo, o la hidráulica que siempre ha tenido un peso importante como energía renovable en el mix energético pero que no dispone de mucho recorrido en el momento que no existen muchos emplazamientos libres y su gran impacto ambiental al inundar grandes zonas para crear los embalses.

En año 1997 se firmó en Japón el Protocolo de Kioto, a través del cual se buscan objetivos concretos de reducción de emisiones de CO₂ a nivel mundial, otorgando a cada país un calendario de reducción de emisiones de tal manera que se asigna una cuota en función de nivel de partida en cuanto a emisiones y en función de su desarrollo económico y tecnológico.

Es por ello, y en previsión de asegurar el abastecimiento energético futuro así como para mejorar el medioambiente y cumplir con los objetivos de reducción de emisiones, que desde los gobiernos de los países se han ido desarrollando normas y tratados que intentan disminuir las necesidades energéticas por un lado, y por otro tratan de suplir dichas necesidades fomentando el uso de energías limpias y renovables. Encuadrado en el segundo apartado de buscar alternativas que suplan las energías fósiles y agotables, estarían aquellas normas que promueven y obligan a usar entre otras la energía eólica, energía hidráulica, solar (desde su vertiente tanto fotovoltaica como térmica y termosolar), biomasa, biocombustibles como el etanol, etc.



Como parte de esta promoción de las energías alternativas renovables además de limpias, pues evitan la contaminación que provocan los combustibles fósiles, y dado que en el ámbito de la edificación se genera una cantidad importante del consumo de energía (El 17% del consumo directo de energía final se debe al sector residencial. Y a eso habría que añadir un 9% más del sector servicios. Datos de IDAE para el año 2008, Tabla 1), surgió la necesidad de adaptar la normativa de construcción y edificación mediante el llamado Código Técnico de la Edificación (CTE), en el cual uno de los apartados, en el que se basa este proyecto, trata de aplicar la energía solar térmica a la producción de agua caliente para usos sanitarios (también para calefacción, pero esto no como obligación mínima, sino como recomendación para promoción de la tecnología).

En concreto, se desarrolla en dicha norma unos requisitos mínimos legales de aporte de energía para el calentamiento de agua de uso sanitario en edificios de nueva construcción, que provenga de energía solar, en función de la zona del país, el uso del edificio, la ocupación, etc.

Sector	Carbón	Productos Petrolíferos	Gases	Energías Renovables	Energía Eléctrica	TOTAL	Δ 2008/2007
Industria	2.059	4.477	12.518	1.498	9.410	29.962	0,0%
Transporte	0	38.529	0	610	479	39.617	-2,9%
Usos Diversos	20	9.891	4.614	2.315	12.224	29.064	-4,8%
Residencial	17	5.153	3.613	2.155	5.532	16.471	-2,1%
Servicios	3	2.140	728	115	6.225	9.211	-6,4%
Agricultura	0	2.597	273	44	467	3.382	-12,6%
TOTAL	2.079	52.896	17.132	4.423	22.113	98.643	-2,6%
Δ 2008/2007	-10,3%	-4,3%	-0,8%	3,6%	-0,2%	-2,6%	

Fuente: IDAE/MITYC/INE. Datos Provisionales

(1): Excluidos Usos no Energéticos

Tabla 1: Consumo de distintos tipos de Energía según sector año 2008

II. OBJETIVOS



II.1 OBJETIVOS

El objetivo perseguido es diseñar una instalación solar térmica de tal manera que se cumpla la normativa vigente en la actualidad a través del Código Técnico de la Edificación (CTE) mediante la que aprovecharemos la energía solar para abastecernos de energía limpia y eficaz la cual servirá para producir agua caliente sanitaria en un edificio de 10 viviendas en altura en la provincia de Alicante

Para ello, se pretende instalar un sistema solar basado en colectores solares planos, descartando la posibilidad de implementar un conjunto de colectores de vacío por ser bastante más caros, y no tener problemas de espacio en la cubierta del edificio, de tal manera que no es diferenciador el hecho de que en menor superficie se obtenga una mayor cantidad de energía, debido a unas menores pérdidas al ambiente.

Como forma de proceder, se realizará el estudio de la demanda, y una vez determinada ésta se calculará la instalación que nos proporciona la cobertura de dicha necesidad. Calcularemos la cantidad de paneles necesarios, partiendo de una marca de reconocido prestigio como es Isofotón, se calculará y diseñará la instalación en todas sus vertientes, diseñando el transporte y acumulación del agua calentada usando un cuarto situado en el sótano del edificio para ubicar el depósito, intercambiadores de calor y bomba de circulación, y realizando una instalación en serie con la caldera que aportará la energía restante hasta llegar a la temperatura de servicio cuando la irradiación no sea suficiente por estar nublado. Se ha escogido una instalación con caldera centralizada en serie, debido a que disponemos de un cuarto donde situar la caldera y evitamos tener que poner una caldera individual por vivienda, disminuyendo los costes al realizar una instalación más simple que al utilizar una caldera por vivienda, que además deberíamos contar con diez depósitos y diez intercambiadores. Solo realizaremos aporte de energía al consumo de agua caliente sanitaria, obviando la calefacción, al no ser el estudio de la calefacción objeto de este proyecto.

El procedimiento a seguir será calcular la energía que procedente del sol llega a los paneles solares en forma de radiación, la cual se convierte en parte en calor que se aprovecha en el calentamiento de agua, y restando las pérdidas que se producen obtener la cantidad de energía que se convierte en útil y se traduce en disminución del gasto de energía fósil.

Para realizar el estudio se ha usado el programa Mathcad a través del que se obtiene los cálculos matemáticos necesarios.

Como objetivos añadidos, se busca obtener el estudio económico de la instalación, para determinar el ahorro económico, el cual se traduce en un periodo de amortización de la instalación, es decir, el tiempo en el cual el ahorro generado es suficiente para pagar el coste de la instalación.

Igualmente se busca obtener el ahorro energético en el equivalente de combustible dejado de gastar, y asociado a esto el ahorro medioambiental como reducción de emisiones de CO₂.



III. CALCULO DE LA DEMANDA ENERGETICA



III.1 DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO

El edificio a considerar para la realización de este proyecto se encuentra ubicado en la provincia de Alicante. Dicho edificio, según se puede ver en los planos de arquitectura en el anexo, se compone de planta baja, primera y segunda situados sobre rasante, y un sótano bajo rasante. En dicho sótano se encuentran el aparcamiento de vehículos y se dispone de un cuarto que se usará para las instalaciones donde se ubicará el cuarto de caldera, con el intercambiador, los depósitos, y las bombas de circulación necesarios para el buen funcionamiento de la instalación.

En este edificio se disponen diez viviendas, con la siguiente distribución:

1. Planta Baja:
 - a. Vivienda de 1 habitación
 - b. Vivienda de 3 habitaciones
 - c. Vivienda de 2 habitaciones
 - d. Vivienda de 1 habitación
2. Planta Primera
 - a. Vivienda de 2 habitaciones
 - b. Vivienda de 2 habitaciones
 - c. Vivienda de 2 habitaciones
 - d. Vivienda de 1 habitación
 - e. Vivienda de 1 habitación
 - f. Vivienda de 2 habitaciones

En la planta segunda se ubican dependencias de las viviendas de la planta primera al tratarse de viviendas tipo dúplex con comunicación interna.

La cubierta del edificio es de tipo inclinada, con orientación sur en una de sus caras en la cual el ángulo de la cubierta respecto de la horizontal es de 30° , de tal manera que será la que usemos para colocar los paneles.

Puesto que no hay información de los edificios cercanos, trabajaremos con la hipótesis de que los existentes serán como máximo de igual altura de tal manera que no producirán sombras a lo largo del día sobre nuestra instalación.

III.2 CÁLCULO DE LA DEMANDA ENERGÉTICA

La demanda energética para calentamiento de agua caliente sanitaria viene dada por el volumen de consumo y las temperaturas de preparación y de agua fría (para la cual se toma la temperatura a la que obtenemos el agua de abastecimiento de la red de distribución), es decir, la diferencia de temperaturas.

El Código Técnico indica que en el caso de instalaciones existentes para las que se disponga de datos de consumo medidos en años anteriores, se utilizarán estos datos previa justificación de los mismos. En instalaciones nuevas o existentes, para las que se



disponga de datos de consumo de instalaciones similares, podrá utilizarse éstos previa justificación.

En caso de no disponer de datos, como en el caso que nos ocupa, se utilizarán para el diseño los consumos unitarios máximos expresados en la tabla 3.1 de la sección HE 4: *Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria* del Código Técnico de la Edificación (según Tabla 2)

Tabla 3.1. Demanda de referencia a 60°C (1)		
Criterio de demanda	Litros ACS/día a 60° C	
Viviendas unifamiliares	30	por persona
Viviendas multifamiliares	22	por persona
Hospitales y clínicas	55	por cama
Hotel ****	70	por cama
Hotel ***	55	por cama
Hotel/Hostal **	40	por cama
Camping	40	por emplazamiento
Hostal/Pensión *	35	por cama
Residencia (ancianos, estudiantes, etc)	55	por cama
Vestuarios/Duchas colectivas	15	por servicio
Escuelas	3	por alumno
Cuarteles	20	por persona
Fábricas y talleres	15	por persona
Administrativos	3	por persona
Gimnasios	20 a 25	por usuario
Lavanderías	3 a 5	por kilo de ropa
Restaurantes	5 a 10	por comida
Cafeterías	1	por almuerzo

(1) Los litros de ACS/día a 60°C de la tabla se han calculado a partir de la tabla 1 (Consumo unitario diario medio) de la norma UNE 94002:2005 "Instalaciones solares térmicas para producción de agua caliente sanitaria: cálculo de la demanda energética".

Tabla 2: Demanda de referencia a 60°C.
Fuente: Código Técnico de la Edificación. (CTE)(1)

En cuanto a las temperaturas de referencia, tendremos una temperatura inicial (la temperatura de red, T_r) y la temperatura deseada a alcanzar para suministro al consumo (T_{sum}), que por diseño se toma normalmente como 60°, y será la buscada en este estudio.

Para obtener la temperatura de agua de red se usará la Tabla 3:



Temperatura media del agua de la red general, en °C. (Fuente: CENSOLAR).

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
1 ALAVA	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
2 ALBACETE	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
3 ALICANTE	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
4 ALMERIA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
5 ASTURIAS	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
6 AVILA	4	5	7	9	10	11	12	11	10	9	7	4	8,3
7 BADAJOZ	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
8 BALEARES	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
9 BARCELONA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
10 BURGOS	4	5	7	9	10	11	12	11	10	9	7	4	8,3
11 CÁ CERES	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
12 CÁ DIZ	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
13 CANTABRIA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
14 CASTELLÓN	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
15 CEUTA	8	9	10	12	13	13	14	13	13	12	11	8	11,3
16 CIUDAD REAL	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
17 CÓ RDIBA	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
18 LA CORUÑA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
19 CUENCA	4	5	7	9	10	11	12	11	10	9	7	4	8,3
20 GERONA	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
21 GRANADA	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
22 GUADALAJARA	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
23 GUIPÚZCOA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
24 HUELVA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
25 HUESCA	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
26 JAÉN	8	9	11	13	14	15	17	16	14	13	11	7	12,3
27 LEÓN	4	5	7	9	10	11	12	11	10	9	7	4	8,3
28 LÉRIDA	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
29 LUGO	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
30 MADRID	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
31 MÁLAGA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
32 MELILLA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
33 MURCIA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
34 NAVARRA	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
35 ORENSE	5	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,2
36 PALENCIA	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
37 LAS PALMAS	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
38 PONTEVEDRA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
39 LA RIOJA	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
40 SALAMANCA	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
41 STA. C. DE TENERIFE	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
42 SEGOVIA	4	5	7	9	10	11	12	11	10	9	7	4	8,3
43 SEVILLA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
44 SORIA	4	5	7	9	10	11	12	11	10	9	7	4	8,3
45 TARRAGONA	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
46 TERUEL	4	5	7	9	10	11	12	11	10	9	7	4	8,3
47 TOLEDO	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
48 VALENCIA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
49 VALLADOLID	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
50 VIZCAYA	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
51 ZAMORA	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
52 ZARAGOZA	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3

Tabla 3: Temperatura media de agua de red.
Fuente: Censolar (www.censolar.es) (5)

A la vista de la Tabla 3; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, la temperatura de red en media anual para el cálculo de necesidades será de **12.3° C** al estar situados en Alicante.

El consumo diario medio total para la instalación se obtiene con el consumo unitario total obtenido multiplicado por el número de personas que utilizan la instalación. Para



ello, se hace uso de la tabla del apartado 3.1.1 del Código Técnico de la Edificación (Tabla 4)

Número de dormitorios	1	2	3	4	5	6	7	más de 7
Número de Personas	1,5	3	4	6	7	8	9	Nº de dormitorios

Tabla 4: Ocupación en un edificio de viviendas multifamiliares.
Fuente: Código Técnico de la Edificación. (CTE)(1)

La distribución de las viviendas en el edificio objeto del proyecto, según se obtiene de los planos de arquitectura (ver anexo) es la siguiente, tal como se vio en la descripción del edificio:

1. Planta Baja:
 - a. Vivienda 1 habitación
 - b. Vivienda 3 habitaciones
 - c. Vivienda 2 habitaciones
 - d. Vivienda 1 habitación
2. Planta Primera
 - a. Vivienda 2 habitación
 - b. Vivienda 2 habitación
 - c. Vivienda 2 habitación
 - d. Vivienda 1 habitación
 - e. Vivienda 1 habitación
 - f. Vivienda 2 habitaciones

Y el consumo diario medio obtenido por tanto será el siguiente:

$$(1.5 + 4 + 3 + 1.5 + 3 + 3 + 3 + 1.5 + 1.5 + 3) = 25 \times 22 = 550 \text{ l/día}$$

Que multiplicado por 365 días/año, nos da el total de litros que se consumen

$$365 \times 550 = 200.750 \text{ l/año o lo que es lo mismo } \boxed{200,75 \text{ m}^3/\text{año.}}$$



Dado que el fluido a calentar en este caso es agua, tomamos a efectos de predimensionamiento, la densidad y el calor específico a la temperatura media entre la media de red anual y la temperatura de proyecto, la cual es la siguiente:

$$\frac{60 + 12,3}{2} = 36,15^\circ$$

Y entrando con este dato en la

Tabla 5 de propiedades del agua para hallar C_p y la densidad (1/volumen específico), obtenemos un C_p de 4178.5 J/Kg.K y una densidad del agua ρ (a la temperatura media anual) de 994.1 Kg/m³

Con estos datos, podemos obtener la carga térmica necesaria para alimentar la instalación.

$$\begin{aligned} Q_{\text{anual}} &= V \times \rho \times C_p \times \Delta T = V \times \rho \times C_p \times (T_{\text{sum}} - T_{\text{red}}) \\ &= 200,75 \text{ m}^3/\text{año} \times 4.178,5 \text{ J/Kg.K} \times 994,1 \text{ Kg/m}^3 \times (60-12,25) \text{ K} \\ &= \boxed{39.817,99 \text{ MJ/Año}} \end{aligned}$$

Debido a las fluctuaciones que ocurren en la temperatura ambiente, en la radiación solar, y en la temperatura del agua de red durante el periodo de un año, es necesario calcular la necesidad de calor en periodos más cortos. Lo ideal sería calcular día a día, pero este proceso requiere tener las medias diarias de temperatura de red, y a efectos de calcular el calor aportado, de la temperatura ambiente, de la velocidad del viento, de la irradiación, todo ello difícil de obtener mediante los datos estadísticos que se proporcionan por organismos como en Instituto Nacional de Estadística (7) o Meteored (8), además de requerir un estudio no estacionario, lo que complica el cálculo y conlleva un mayor tiempo de procesamiento de los datos. En cambio, para realizar un cálculo mensual si se dispone de datos, y la estimación es lo suficientemente precisa.

Por ello, calculamos de la misma manera que anualmente, las necesidades mes a mes.

$$Q_{\text{mensual}} = V \times \rho \times C_p \times \Delta T = V \times \rho \times C_p \times (T - T_{\text{red}})$$

Siendo T_{red} , en cada mes según la Tabla 3



846

Apéndice A ■ Propiedades termofísicas de la materia

Tabla A.6 Propiedades termofísicas de agua saturada^a

Tempera- tura, T (K)	Volumen específico (m ³ /kg)		Entalpía de vapo- rización h_{fg} (kJ/kg)	Calor específico (kJ/kg · K)		Viscosidad (N · s/m ²)		Conductividad térmica (W/m · K)		Número de Prandtl		Tensión superficial $\sigma_f \cdot 10^3$ (N/m)	Coeficiente de expan- sión $\beta_f \cdot 10^6$ (K ⁻¹)	Tempe- ratura T (K)
	$v_f \cdot 10^3$	v_g		$c_{p,f}$	$c_{p,g}$	$\mu_f \cdot 10^6$	$\mu_g \cdot 10^6$	$k_f \cdot 10^3$	$k_g \cdot 10^3$	Pr_f	Pr_g			
273.15	1.000	206.3	2502	4.217	1.854	1750	8.02	569	18.2	12.99	0.815	75.5	-68.05	273.15
275	1.000	181.7	2497	4.211	1.855	1652	8.09	574	18.3	12.22	0.817	75.3	-32.74	275
280	1.000	130.4	2485	4.198	1.858	1422	8.29	582	18.6	10.26	0.825	74.8	46.04	280
285	1.000	99.4	2473	4.189	1.861	1225	8.49	590	18.9	8.81	0.833	74.3	114.1	285
290	1.001	69.7	2461	4.184	1.864	1080	8.69	598	19.3	7.56	0.841	73.7	174.0	290
295	1.002	51.94	2449	4.181	1.868	959	8.89	606	19.5	6.62	0.849	72.7	227.5	295
300	1.003	39.13	2438	4.179	1.872	855	9.09	613	19.6	5.83	0.857	71.7	276.1	300
305	1.005	29.74	2426	4.178	1.877	769	9.29	620	20.1	5.20	0.865	70.9	320.6	305
310	1.007	22.93	2414	4.178	1.882	695	9.49	628	20.4	4.62	0.873	70.0	361.9	310
315	1.009	17.82	2402	4.179	1.888	631	9.69	634	20.7	4.16	0.883	69.2	400.4	315
320	1.011	13.98	2390	4.180	1.895	577	9.89	640	21.0	3.77	0.894	68.3	436.7	320
325	1.013	11.06	2378	4.182	1.903	528	10.09	645	21.3	3.42	0.901	67.5	471.2	325
330	1.016	8.82	2366	4.184	1.911	489	10.29	650	21.7	3.15	0.908	66.6	504.0	330
335	1.018	7.09	2354	4.186	1.920	453	10.49	656	22.0	2.88	0.916	65.8	535.5	335
340	1.021	5.74	2342	4.188	1.930	420	10.69	660	22.3	2.66	0.925	64.9	566.0	340
345	1.024	4.683	2329	4.191	1.941	389	10.89	668	22.6	2.45	0.933	64.1	595.4	345
350	1.027	3.846	2317	4.195	1.954	365	11.09	668	23.0	2.29	0.942	63.2	624.2	350
355	1.030	3.180	2304	4.199	1.968	343	11.29	671	23.3	2.14	0.951	62.3	652.3	355
360	1.034	2.645	2291	4.203	1.983	324	11.49	674	23.7	2.02	0.960	61.4	697.9	360
365	1.038	2.212	2278	4.209	1.999	306	11.69	677	24.1	1.91	0.969	60.5	707.1	365
370	1.041	1.861	2265	4.214	2.017	289	11.89	679	24.5	1.80	0.978	59.5	728.7	370
373.15	1.044	1.679	2257	4.217	2.029	279	12.02	680	24.8	1.76	0.984	58.9	750.1	373.15
375	1.045	1.574	2252	4.220	2.036	274	12.09	681	24.9	1.70	0.987	58.6	761	375
380	1.049	1.337	2239	4.226	2.057	260	12.29	683	25.4	1.61	0.999	57.6	788	380
385	1.053	1.142	2225	4.232	2.080	248	12.49	685	25.8	1.53	1.004	56.6	814	385

Tabla 5: Propiedades termo físicas de la materia.

Fuente: Fundamentos de transferencia de calor. Frank P. Incropera, David P.DeWitt. (18)

Para saber las necesidad mes a mes se procede calculando tanto la densidad como el calor específico a la temperatura media de cada mes por interpolación entre el valor inferior y el superior cuando el valor de la temperatura no existe en la Tabla 5, y teniendo además en cuenta que el consumo de 22 litros por persona y día varía en función del mes, según se observa en la Ilustración 1

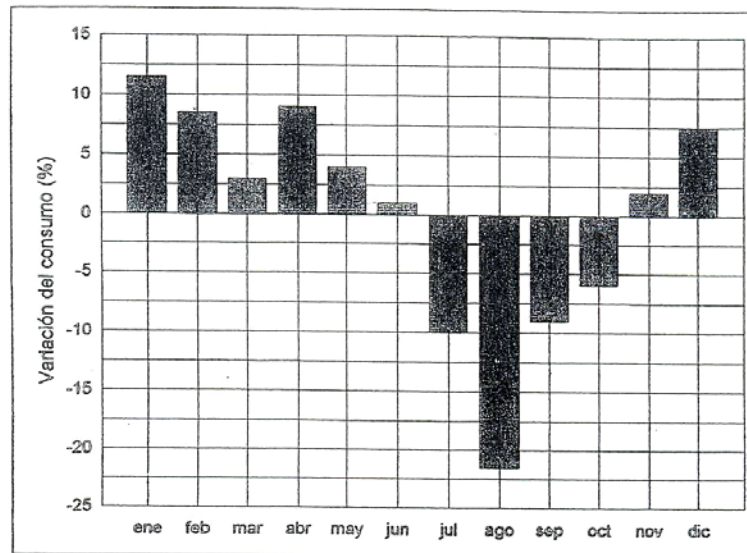


Figura 1.1. Variación media del consumo mensual en viviendas

Ilustración 1 Variación media del consumo mensual en viviendas.

Fuente: DTIE 1.01 (Preparación de agua caliente para usos sanitarios) (2)

Se obtienen los siguientes valores para cada mes:

❖ Enero

- $V = 550 \text{ l/día} \times 31 \text{ días} = 17,05 \text{ m}^3$
- $\rho = 994,4 \text{ Kg/m}^3$
- $C_e = 4.178,4 \text{ J/Kg.K}$
- $T_{\text{red}} = 8^\circ ; (T^a \text{ consumo} + T_{\text{red}})/2 = 34^\circ$

$$\Rightarrow 17,05 \text{ m}^3 \times 1,12 \times 4.178,4 \text{ J/Kg.K} \times 994,4 \text{ Kg/m}^3 \times (60-8)\text{K} = \mathbf{4.125,88 \text{ MJ}}$$

❖ Febrero

- $V = 550 \text{ l/día} \times 28 \text{ días} = 15,40 \text{ m}^3$
- $\rho = 994,25 \text{ Kg/m}^3$
- $C_e = 4.178,4 \text{ J/Kg.K}$
- $T_{\text{red}} = 9^\circ ; (T^a \text{ consumo} + T_{\text{red}})/2 = 34,5^\circ$

$$\Rightarrow 15,40 \text{ m}^3 \times 1,08 \times 4.178,4 \text{ J/Kg.K} \times 994,25 \text{ Kg/m}^3 \times (60-9)\text{K} = \mathbf{3.523,82 \text{ MJ}}$$



❖ Marzo

- $V = 550 \text{ l/día} \times 31 \text{ días} = 17,05 \text{ m}^3$
- $\rho = 993,91 \text{ Kg/m}^3$
- $C_e = 4.178,5 \text{ J/Kg.K}$
- $T_{\text{red}} = 11^\circ ; (T^a \text{ consumo} + T_{\text{red}})/2 = 35,5^\circ$

$$\Rightarrow 17,05 \text{ m}^3 \times 1.03 \times 4.178,5 \text{ J/Kg.K} \times 993,91 \text{ Kg/m}^3 \times (60-11)\text{K} = \mathbf{3.573,76 \text{ MJ}}$$

❖ Abril

- $V = 550 \text{ l/día} \times 30 \text{ días} = 16,50 \text{ m}^3$
- $\rho = 993,53 \text{ Kg/m}^3$
- $C_e = 4.178,5 \text{ J/Kg.K}$
- $T_{\text{red}} = 13^\circ ; (T^a \text{ consumo} + T_{\text{red}})/2 = 36,5^\circ$

$$\Rightarrow 16,50 \text{ m}^3 \times 1.09 \times 4.178,5 \text{ J/Kg.K} \times 993,53 \text{ Kg/m}^3 \times (60-13)\text{K} = \mathbf{3.509,21 \text{ MJ}}$$

❖ Mayo

- $V = 550 \text{ l/día} \times 31 \text{ días} = 17,05 \text{ m}^3$
- $\rho = 993,34 \text{ Kg/m}^3$
- $C_e = 4.178,5 \text{ J/Kg.K}$
- $T_{\text{red}} = 14^\circ ; (T^a \text{ consumo} + T_{\text{red}})/2 = 37^\circ$

$$\Rightarrow 17,05 \text{ m}^3 \times 1.04 \times 4.178,5 \text{ J/Kg.K} \times 993,34 \text{ Kg/m}^3 \times (60-14)\text{K} = \mathbf{3.385,59 \text{ MJ}}$$

❖ Junio

- $V = 550 \text{ l/día} \times 30 \text{ días} = 16,50 \text{ m}^3$
- $\rho = 993,15 \text{ Kg/m}^3$
- $C_e = 4.178,5 \text{ J/Kg.K}$
- $T_{\text{red}} = 15^\circ ; (T^a \text{ consumo} + T_{\text{red}})/2 = 37,5^\circ$

$$\Rightarrow 16,50 \text{ m}^3 \times 1.01 \times 4.178,5 \text{ J/Kg.K} \times 993,15 \text{ Kg/m}^3 \times (60-15)\text{K} = \mathbf{3.081,21 \text{ MJ}}$$

❖ Julio

- $V = 550 \text{ l/día} \times 31 \text{ días} = 17,05 \text{ m}^3$
- $\rho = 992,96 \text{ Kg/m}^3$
- $C_e = 4.178,5 \text{ J/Kg.K}$
- $T_{\text{red}} = 16^\circ ; (T^a \text{ consumo} + T_{\text{red}})/2 = 38^\circ$

$$\Rightarrow 17,05 \text{ m}^3 \times 0.90 \times 4.178,5 \text{ J/Kg.K} \times 992,96 \text{ Kg/m}^3 \times (60-16)\text{K} = \mathbf{2.801,38 \text{ MJ}}$$



❖ Agosto

- $V = 550 \text{ l/día} \times 31 \text{ días} = 17,05 \text{ m}^3$
- $\rho = 993,15 \text{ Kg/m}^3$
- $C_e = 4.178,5 \text{ J/Kg.K}$
- $T_{\text{red}} = 15^\circ ; (T^a \text{ consumo} + T_{\text{red}})/2 = 37,5^\circ$

$$\Rightarrow 17,05 \text{ m}^3 \times 0,78 \times 4.178,5 \text{ J/Kg.K} \times 993,15 \text{ Kg/m}^3 \times (60-15)\text{K} = \mathbf{2.483,51 \text{ MJ}}$$

❖ Septiembre

- $V = 550 \text{ l/día} \times 30 \text{ días} = 16,50 \text{ m}^3$
- $\rho = 993,34 \text{ Kg/m}^3$
- $C_e = 4.178,5 \text{ J/Kg.K}$
- $T_{\text{red}} = 14^\circ ; (T^a \text{ consumo} + T_{\text{red}})/2 = 37^\circ$

$$\Rightarrow 16,50 \text{ m}^3 \times 0,92 \times 4.178,5 \text{ J/Kg.K} \times 993,34 \text{ Kg/m}^3 \times (60-14)\text{K} = \mathbf{2.898,33 \text{ MJ}}$$

❖ Octubre

- $V = 550 \text{ l/día} \times 31 \text{ días} = 17,05 \text{ m}^3$
- $\rho = 993,53 \text{ Kg/m}^3$
- $C_e = 4.178,5 \text{ J/Kg.K}$
- $T_{\text{red}} = 13^\circ ; (T^a \text{ consumo} + T_{\text{red}})/2 = 36,5^\circ$

$$\Rightarrow 17,05 \text{ m}^3 \times 0,94 \times 4.178,5 \text{ J/Kg.K} \times 993,53 \text{ Kg/m}^3 \times (60-13)\text{K} = \mathbf{3.127,17 \text{ MJ}}$$

❖ Noviembre

- $V = 550 \text{ l/día} \times 30 \text{ días} = 16,50 \text{ m}^3$
- $\rho = 993,91 \text{ Kg/m}^3$
- $C_e = 4.178,5 \text{ J/Kg.K}$
- $T_{\text{red}} = 11^\circ ; T^a \text{ interpolación} = 35,5^\circ$

$$\Rightarrow 16,50 \text{ m}^3 \times 1,02 \times 4.178,5 \text{ J/Kg.K} \times 993,91 \text{ Kg/m}^3 \times (60-11)\text{K} = \mathbf{3.424,90 \text{ MJ}}$$

❖ Diciembre

- $V = 550 \text{ l/día} \times 31 \text{ días} = 17,05 \text{ m}^3$
- $\rho = 994,4 \text{ Kg/m}^3$
- $C_e = 4.178,4 \text{ J/Kg.K}$
- $T_{\text{red}} = 8^\circ ; (T^a \text{ consumo} + T_{\text{red}})/2 = 34^\circ$

$$\Rightarrow 17,05 \text{ m}^3 \times 1,07 \times 4.178,4 \text{ J/Kg.K} \times 994,4 \text{ Kg/m}^3 \times (60-8)\text{K} = \mathbf{3.941,69 \text{ MJ}}$$

Sumando todos los valores mensuales, obtenemos un total anual de **39.907,39 MJ**, lo cual no se desvía en gran medida de lo calculado por media anual, siendo más preciso puesto que el consumo no es lineal todo el año ni las temperaturas ambientales y de red se mantienen constantes.



IV. PREDIMENSIONAMIENTO DE LA INSTALACIÓN



IV.1 CALCULO DE LA FRACCION SOLAR

Para poder realizar un dimensionamiento de la instalación solar, necesitamos saber qué cantidad de energía debe aportar el sistema. Para ello, y dado que ya conocemos las necesidades de calor del edificio, el siguiente paso es saber qué porcentaje de estas necesidades se deben cubrir mediante aporte de energía solar, obteniendo la fracción solar requerida.

En primer lugar, obtenemos la radiación media anual sobre el lugar en el que se sitúa la instalación, que es Alicante como se ha visto anteriormente. Para ello usamos la Tabla 6 contenida en el Código Técnico de la Edificación:

Zona climática	MJ/m ²	kWh/m ²
I	$H < 13,7$	$H < 3,8$
II	$13,7 \leq H < 15,1$	$3,8 \leq H < 4,2$
III	$15,1 \leq H < 16,6$	$4,2 \leq H < 4,6$
IV	$16,6 \leq H < 18,0$	$4,6 \leq H < 5,0$
V	$H \geq 18,0$	$H \geq 5,0$

Tabla 6: Radiación solar global anual.
 Fuente: Código Técnico de la Edificación. (CTE)(1)

Y para obtener la zona climática usamos el mapa mostrado en Ilustración 1 y la Tabla 7

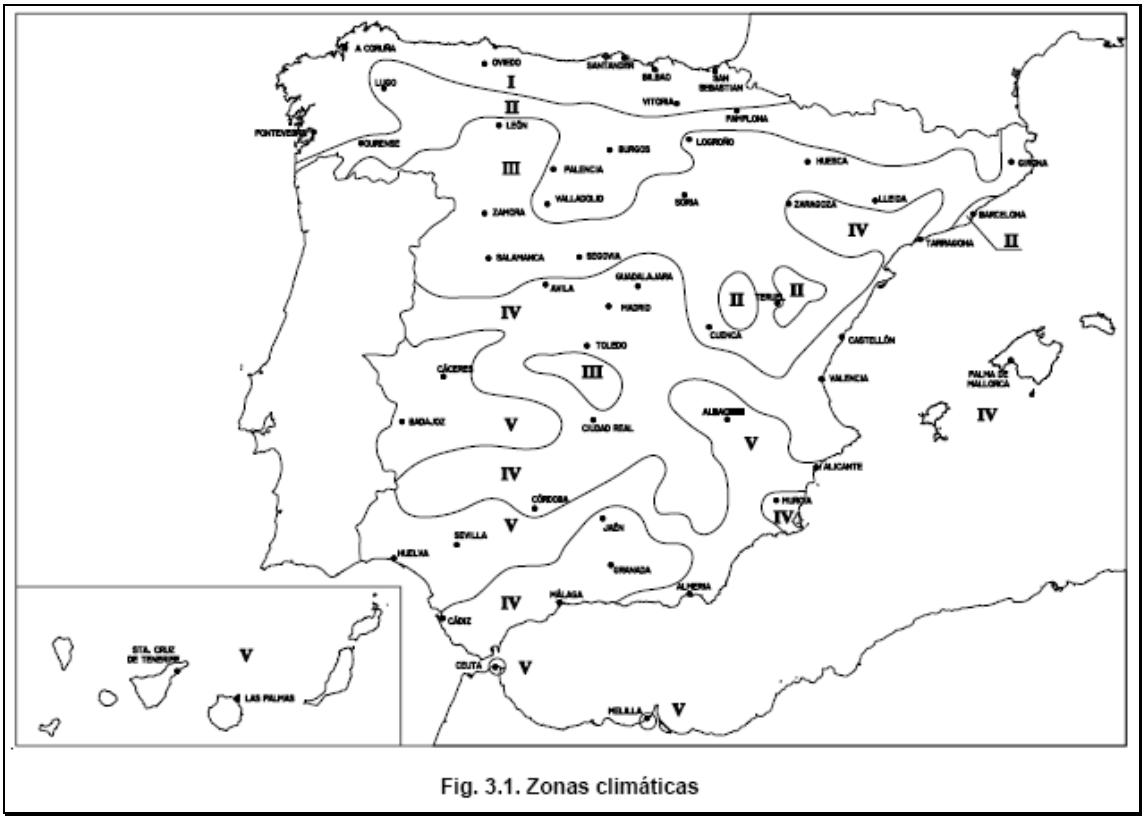


Ilustración 2: zonas climáticas en España.
Fuente: Código Técnico de la Edificación. (CTE)(1)

Tabla 3.3 Zonas climáticas					
A CORUÑA	Arteixo	I	Petrer	IV	BARCELONA
	Carballo	I	San Vicente del Raspeig	V	Badalona
	A Coruña	I	Torreveja	V	Barbera del valles
	Ferrol	I	Villajoyosa	IV	Barcelona
	Naron	I	Villena	IV	Castelldefels
	Oleiros	I	Adra	V	Cerdanyola del Valles
	Riveira	I	Almería	V	Comella de Llobregat
	Santiago de compostela	I	El Ejido	V	Gava
ALAVA	Vitoria-Gasteiz	I	Roquetas de mar	V	Granollers
ALBACETE	Albacete	V	ASTURIAS	Aviles	I
	Almansa	V		Castrillon	I
	Hellin	V		Gijón	I
	Villarrobledo	IV		Langreo	I
ALICANTE	Alcoy	IV		Mieres	I
	Alicante	V		Oviedo	I
	Benidorm	IV		San Martín del rey Aurelio Siero	I
	Crevillent	V	AVILA	Ávila	IV
	Denia	IV		Almendralejo	V
	Elche	V	BADAJOS	Badajoz	V
	Elda	IV		Don Benito	V
	Ibi	IV		Mérida	V
	Javea	IV		Villanueva de la Serena	V
	Novelda	IV			
	Orihuela	IV			

Tabla 7: Zonas climáticas en España.
Fuente: Código Técnico de la Edificación. (CTE)(1)



Con lo cual vemos que nos encontramos en la zona climática V, es decir una radiación solar global mínima de 18 MJ/m² año o bien 5 Kwh/m²

Tabla 2.1. Contribución solar mínima en %. Caso general					
Demanda total de ACS del edificio (l/d)	Zona climática				
	I	II	III	IV	V
50-5.000	30	30	50	60	70
5.000-6.000	30	30	55	65	70
6.000-7.000	30	35	61	70	70
7.000-8.000	30	45	63	70	70
8.000-9.000	30	52	65	70	70
9.000-10.000	30	55	70	70	70
10.000-12.500	30	65	70	70	70
12.500-15.000	30	70	70	70	70
15.000-17.500	35	70	70	70	70
17.500-20.000	45	70	70	70	70
> 20.000	52	70	70	70	70

Tabla 2.2. Contribución solar mínima en %. Caso Efecto Joule					
Demanda total de ACS del edificio (l/d)	Zona climática				
	I	II	III	IV	V
50-1.000	50	60	70	70	70
1.000-2.000	50	63	70	70	70
2.000-3.000	50	66	70	70	70
3.000-4.000	51	69	70	70	70
4.000-5.000	58	70	70	70	70
5.000-6.000	62	70	70	70	70
> 6.000	70	70	70	70	70

Tabla 8: Contribución solar mínima en %. Caso General.
Fuente: Código Técnico de la Edificación. (CTE)(1)

Sabiendo que nos encontramos en la zona climática V y en el caso general, pues la caldera de apoyo es de gas natural (aunque en esta zona el valor es el mismo si estuviéramos en el caso de calentamiento efecto Joule como se produce en un termo eléctrico) se concluye que la aportación solar debe llegar a un mínimo del **70%** anual de la energía consumida para calentar el agua caliente sanitaria, para cualquier consumo anual de ACS. Como nuestro estudio desarrollado para las necesidades de consumo nos daba como resultado 39.892,19 MJ, será necesario aportar mediante la energía solar **27.924,53 MJ**

IV.2 ESTIMACION DEL AREA NECESARIA MEDIANTE MEDIA ANUAL

Como primera cifra para saber aproximadamente el área necesaria de colectores, es preciso resolver la siguiente fórmula:

$$I \cdot A \cdot \eta = q_{anual} \cdot f$$

Donde I es la irradiación anual que llega al colector, η el rendimiento del colector, f la fracción solar y q_{anual} el calor total necesario.

Como hemos obtenido en los pasos anteriores el calor que necesitamos, la fracción solar que tenemos que cumplir, la radiación que llega al colector, y la incógnita es el área, es necesario calcular el rendimiento.



El rendimiento del colector lo podemos obtener sabiendo la temperatura media a la que trabaja y la temperatura exterior, a partir de la curva de rendimiento dada por el fabricante.

La eficiencia del captador responde a la formula dada en la

Ecuación 1, según el manual del

fabricante de nuestro colector, Isofotón (11):

$$\eta = \eta_0 - k_1 \frac{(t_e - t_a)}{G} - k_2 \frac{(t_e - t_a)^2}{G} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde, según la hoja técnica del colector:

$$\begin{aligned} \eta_0 &= 0.773 \text{ (rendimiento óptico)} \\ k_1 &= 3.243 \text{ W/m}^2\text{K} \\ k_2 &= 0.014 \text{ W/m}^2\text{K}^2 \end{aligned}$$

Siendo t_e la temperatura de entrada al colector, t_a la temperatura ambiente, y G la Irradiancia en W/m²

El Fabricante nos da la curva de eficiencia en su manual (Ilustración 3), con lo cual es suficiente con calcular $(T_e - T_a)/G$

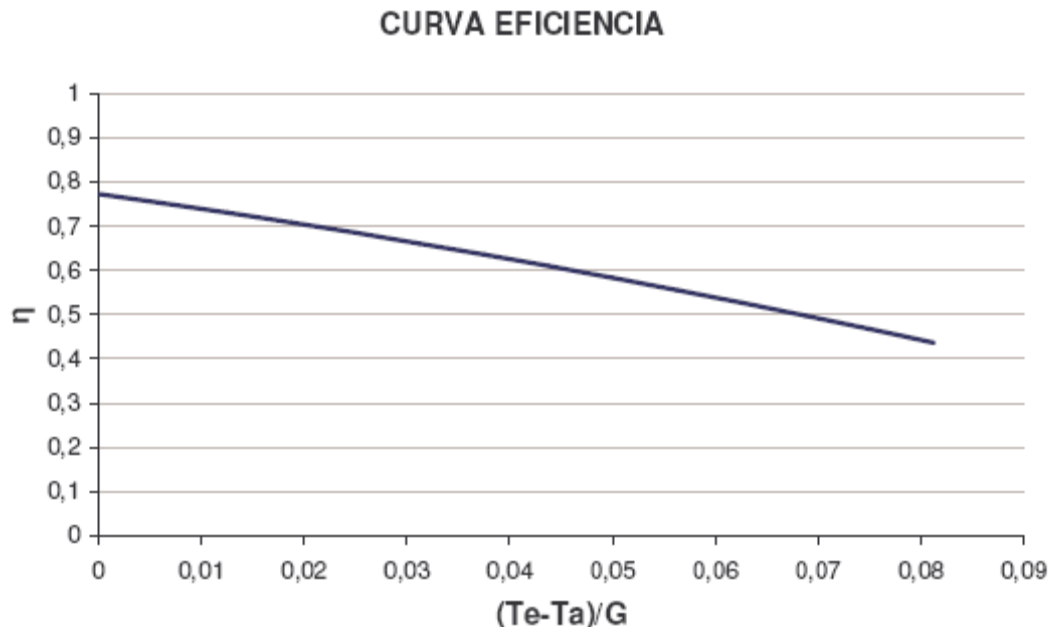


Ilustración 3: Curva de eficiencia del colector.

Fuente: Catálogo técnico ISOFOTON (www.isofoton.com) (11)

Calculamos G a partir del dato obtenido de la Tabla 13 de la siguiente manera, teniendo en cuenta las horas de sol obtenidas del INE en la Tabla 12



Usando la media mensual, podemos obtener la aportación de energía en cada mes que tenemos por metro cuadrado en el plano horizontal, como sigue según la

$$G_H = \frac{I}{h} = \frac{Wh/m^2}{h} = W/m^2 \text{ Ecuación 2:}$$

$$G_H = \frac{I}{h} = \frac{Wh/m^2}{h} = W/m^2 \text{ Ecuación 2}$$

Siendo h las horas de sol (media mensual), e I la irradiación media mensual que podemos ver en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..** Obtenemos entonces la Tabla 9:

	Media	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo
W/m ²	550,53	394,44	470,80	595,39	600,81	686,30

Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
626,55	620,78	615,11	593,26	526,19	462,01	414,81

Tabla 9: Irradiación en W/m² en el plano horizontal G_H

En cualquier caso, hay que tener en cuenta la inclinación de los paneles solares, pues la irradiación obtenida es en la observada en el plano horizontal. Se propone instalar los colectores con un ángulo de 45° respecto a la horizontal para favorecer la captación en invierno aun a costa disminuir la energía captada en verano, puesto que la latitud de Alicante es de 38°. En cuestión arquitectónica, puesto el ángulo que forma el tejado donde van a quedar instalados los paneles con la horizontal es de 30°, sería necesario instalar un soporte de 15° de inclinación con respecto al techo.

Para tener en cuenta este ángulo, se corrige mes a mes con el factor de corrección k según Censolar, obtenido de la Tabla 22, de tal manera que se obtiene la Tabla 10

	Media	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo
W/m ²	618,47	540,4	593,2	672,8	594,8	610,8

Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
538,8	552,5	615,1	694,1	715,6	683,7	609,7

Tabla 10: Irradiación corregida G en W/m²

Para comprobar las pérdidas según el apartado 3.5 “Cálculo de pérdidas por orientación e inclinación” del CTE, en su sección HE-4, contribución solar mínima de ACS, tenemos en cuenta que el acimut tomado es 0° dado que tenemos orientación sur. β hemos seleccionado 45° con una latitud de 38°, de tal manera que corrigiendo los límites de inclinación aceptables en función de la diferencia entre la latitud del lugar en cuestión y la de 41°, de acuerdo a las siguientes fórmulas:

- inclinación máxima = inclinación (φ = 41°) – (41° - latitud);
 - inclinación mínima = inclinación (φ = 41°) – (41°-latitud); siendo 5° su valor mínimo.
- y fijándonos en la Tabla 11 nos encontramos entre 95% y 100%, cumpliendo las pérdidas máximas exigidas para el caso general del 10%. Si comprobamos según la

fórmula (3.5) del apartado 3.5.2.3 del CTE, calculando β_{opt} según el apartado 1.2.11.b para demanda preferente en invierno la latitud $+10^\circ$, recordando que tenemos 38° de latitud, por lo tanto β_{opt} es de 48° y el cálculo de pérdida arroja un 1%.

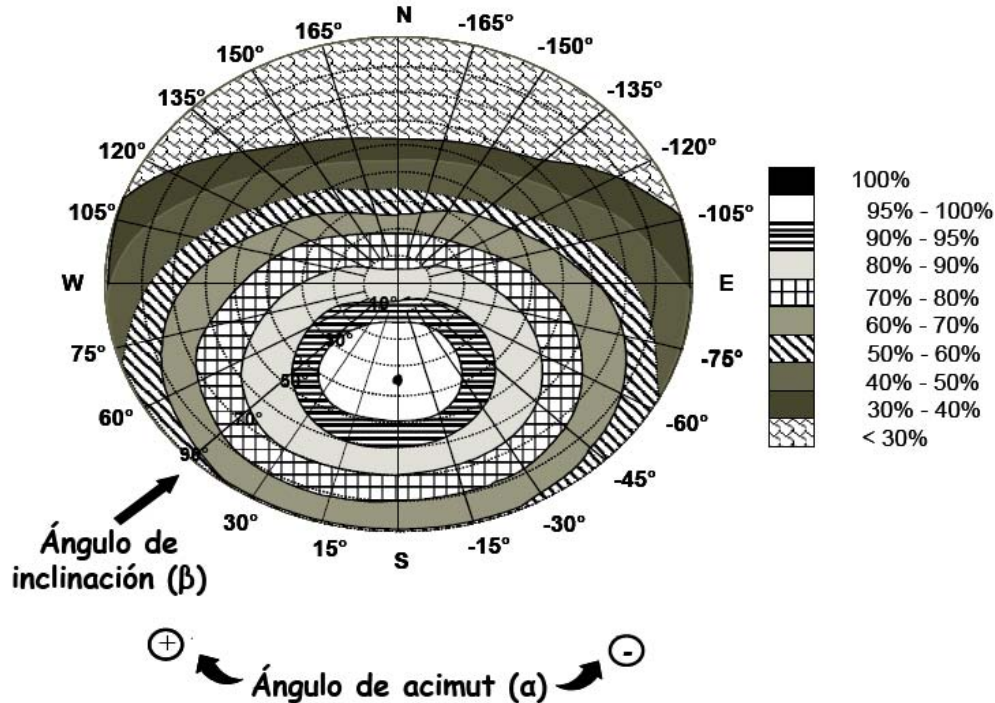


Tabla 11: Porcentaje de energía respecto al máximo como consecuencia de las pérdidas por orientación e inclinación. Fuente: CTE (1)

Sustituyendo G media anual en la ecuación del rendimiento del colector obtenemos el rendimiento medio anual de los colectores (tomando como hipótesis una temperatura ambiente media de 20°C y una temperatura de entrada a los colectores de 45°C , dado que esta temperatura no puede ser mayor que la salida del intercambiador de calor en el lado primario, y a su vez esta no puede ser menor que la entrada del circuito secundario, la cual proviene de la parte inferior depósito de acumulación, que debido a la estratificación estará más fría que en la parte superior, donde tenemos el agua acumulada a 60° . Suponiendo una estratificación de 0.7, el fondo estará entre 40° y 45° , tomando este ultimo valor como partida)

$$\eta = 0.628$$

Por tanto la superficie obtenida será la siguiente:

$$I \cdot A \cdot \eta = q_{anual} \cdot f \rightarrow A = \frac{q_{anual} \cdot f}{I \cdot \eta} = \frac{39.907,39 \text{ Mj} \cdot 0,70}{6699,23 \frac{\text{Mj}}{\text{m}^2} \cdot 0.628} \rightarrow 6,64 \text{ m}^2 \quad \text{Ecuación 3}$$

$$A = 6,64 \text{ m}^2$$

Y teniendo un área unitaria de 2.205 m^2 , tenemos:

$$\frac{6,64m^2}{2,205m^2} \rightarrow 3.01$$

Dado que el número de paneles tiene que ser un entero, esto nos deja un total de 3 paneles.



Número de horas de sol por región, estación, años y meses.

Unidad: horas

SURESTE: Alicante	Total	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1997	2887	125	228	287	225	287	275	343	315	241	243	169	150
1998	2957	165	143	245	275	243	308	357	332	241	269	180	198
1999	2983	193	209	252	308	285	319	323	320	271	157	191	155
2000	3078	202	227	250	264	293	336	345	320	277	232	178	156
2001	2906	168	198	243	281	277	323	325	326	243	235	142	147
2002	2872	176	230	225	241	279	300	341	292	255	221	167	145
2003	2841	189	140	216	239	312	313	339	327	259	165	151	191
2004	2754	230	164	175	243	236	321	322	316	187	231	192	138
2005	3008	248	194	208	272	288	325	307	292	269	226	189	192
Media diaria	9,00	6,84	7,74	8,47	9,78	10,08	11,75	12,51	11,45	9,35	7,98	6,50	5,94

1) Fuente de información: Dirección General del Instituto Nacional de Meteorología.

Fuente: Anuario Estadístico de

España

Copyright INE

2007

Tabla 12: Horas de sol en media mensual en Alicante.
Fuente: Instituto nacional de estadística INE (www.ine.es). (7)



ZONA V KWh/m²

Zona V	4:30- 5:30	5:30- 6:30	6:30- 7:30	7:30- 8:30	8:30- 9:30	9:30- 10:30	10:30- 11:30	11:30- 12:30	12:30- 13:30	13:30- 14:30	14:30- 15:30	15:30- 16:30	16:30- 17:30	17:30- 18:30	18:30- 19:30	Total
Enero	0,000	0,000	0,011	0,116	0,236	0,344	0,419	0,446	0,419	0,344	0,236	0,116	0,011	0,000	0,000	2,698
Febrero	0,000	0,000	0,050	0,182	0,323	0,449	0,535	0,566	0,535	0,449	0,323	0,182	0,050	0,000	0,000	3,644
Marzo	0,000	0,000	0,125	0,286	0,452	0,597	0,696	0,731	0,696	0,597	0,452	0,286	0,125	0,000	0,000	5,043
Abril	0,000	0,050	0,194	0,358	0,522	0,662	0,757	0,790	0,757	0,662	0,522	0,358	0,194	0,050	0,000	5,876
Mayo	0,000	0,108	0,264	0,438	0,608	0,752	0,848	0,882	0,848	0,752	0,608	0,438	0,264	0,108	0,000	6,918
Junio	0,011	0,137	0,297	0,473	0,643	0,786	0,882	0,915	0,882	0,786	0,643	0,473	0,297	0,137	0,000	7,362
Julio	0,005	0,134	0,306	0,496	0,680	0,836	0,940	0,977	0,940	0,836	0,680	0,496	0,306	0,134	0,000	7,766
Agosto	0,000	0,082	0,249	0,436	0,623	0,781	0,888	0,925	0,888	0,781	0,623	0,436	0,249	0,082	0,000	7,043
Septiembre	0,000	0,013	0,157	0,325	0,497	0,645	0,746	0,781	0,746	0,645	0,497	0,325	0,157	0,013	0,000	5,547
Octubre	0,000	0,000	0,076	0,221	0,374	0,509	0,602	0,635	0,602	0,509	0,374	0,221	0,076	0,000	0,000	4,199
Noviembre	0,000	0,000	0,018	0,135	0,264	0,380	0,460	0,489	0,460	0,380	0,264	0,135	0,018	0,000	0,000	3,003
Diciembre	0,000	0,000	0,005	0,099	0,213	0,318	0,391	0,417	0,391	0,318	0,213	0,099	0,000	0,000	0,000	2,464
Media anual	0,001	0,044	0,146	0,297	0,453	0,588	0,680	0,713	0,680	0,588	0,453	0,297	0,146	0,044	0,000	5,130
Total Anual	0,016	0,524	1,752	3,565	5,435	7,059	8,164	8,554	8,164	7,059	5,435	3,565	1,747	0,524	0,000	61,56

1) Fuente de información: Dirección General del Instituto Nacional de Meteorología.

Fuente: Anuario Estadístico de España

Copyright INE 2007

Tabla 13: Irradiación horaria en Kw·h/m²
Fuente: Instituto nacional de estadística INE (www.ine.es). (7)

IV.3 ESQUEMA DE LA INSTALACION

A efectos de poder dimensionar eficientemente la instalación mediante el programa de cálculo matemático Mathcad donde nos basaremos en un balance termodinámico, necesitaremos definir correctamente el esquema de la instalación, para referirnos correctamente a cada punto que influirá en el cálculo y a cada una de las variables a tener en cuenta.

Se ha elegido un sistema con producción centralizada de agua caliente para todo el edificio, de tal manera que se colocan en serie el depósito acumulador del agua caliente obtenida por energía solar, y la caldera en situación posterior con un bypass, de tal manera que si la temperatura en el depósito es suficiente la caldera no entra en funcionamiento, mientras que si no se ha conseguido dicha temperatura la caldera se encarga de calentar la diferencia hasta la temperatura requerida de suministro a las viviendas. Esto disminuirá el consumo de energía primaria, pues aunque en ciertos momentos el sistema solar no sea capaz de dar el 100% de energía necesaria, en otras ocasiones se reducirá el salto térmico en la caldera.

Entre el sistema primario y el secundario, se encuentra un intercambiador, que se puede colocar externo al depósito o interno (usando un depósito interacumulador). Se ha tomado en este proyecto la solución de un intercambiador externo debido a su mejor rendimiento en la práctica, a pesar de que aumentara el coste al tener que disponer de una segunda bomba, amén de mayor número de válvulas y tuberías.

La instalación estará organizada según la Ilustración 4 :

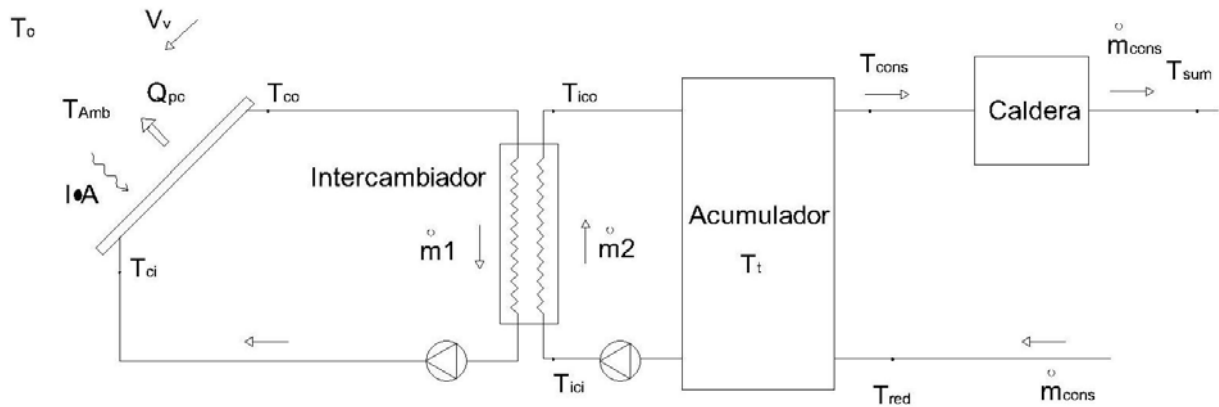


Ilustración 4: Esquema básico de principio de la instalación



En dicha ilustración se ven los puntos principales a tener en cuenta en el cálculo, según la siguiente relación:

- T_c Temperatura de cielo
- T_{amb} Temperatura ambiente
- V_v Velocidad del viento
- $I \cdot A$ Radiación solar recibida en el colector
- Q_{pc} Calor cedido al ambiente por perdidas en el colector
- T_{co} Temperatura de entrada del glicol al colector
- T_{ci} Temperatura de salida del glicol del colector
- T_{ici} Temperatura de entrada del agua al intercambiador
- T_{ico} Temperatura de salida del agua del intercambiador
- m_1 Gasto másico de agua glicolada en el circuito primario
- m_2 Gasto másico de agua en el circuito secundario
- T_t Temperatura del agua en el interior del tanque
- T_{cons} Temperatura a la salida del depósito para consumo
- T_{red} Temperatura de agua de red a la entrada del deposito
- m_{cons} Gasto másico de consumo de agua
- T_{sum} Temperatura de suministro a las viviendas.

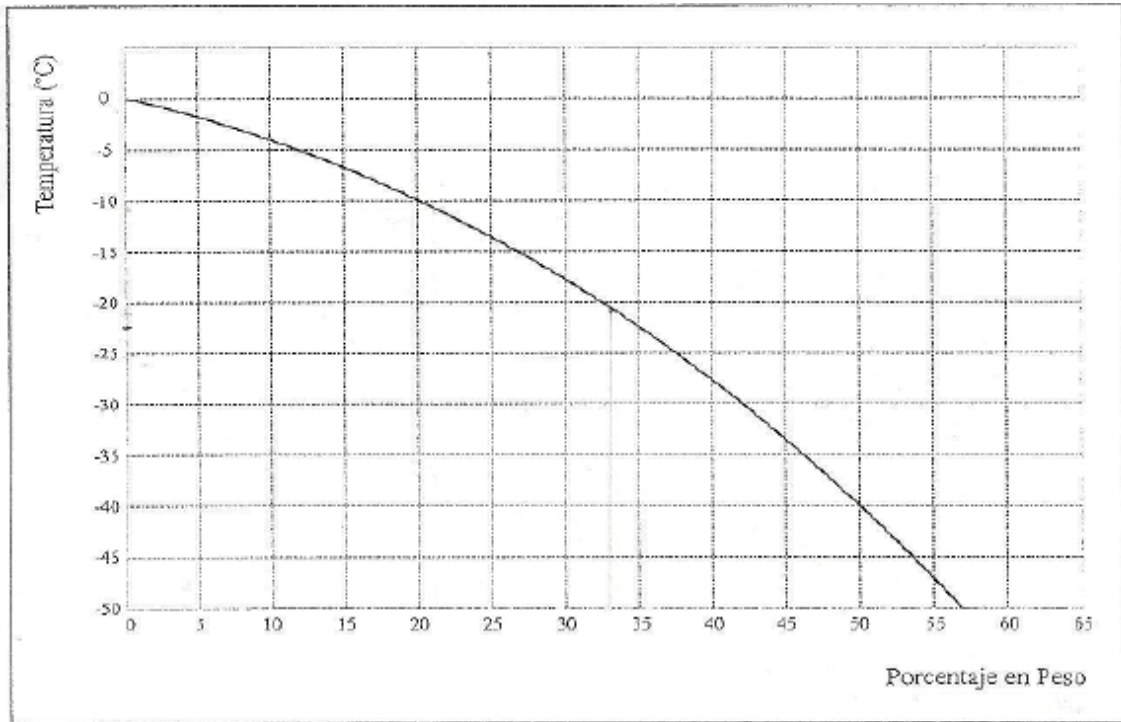
En el sistema primario, que es el circuito que contiene a los colectores, el líquido que circula es agua glicolada, mientras que en el secundario es agua de consumo. No se pueden mezclar los dos circuitos, puesto que el glicol contenido en el agua glicolada no se puede consumir al ser toxico, por lo cual se interpone el intercambiador de calor entre los dos circuitos.

En el caso del circuito primario tenemos un circuito cerrado, y tendremos que disponer de una válvula de seguridad para evitar sobrepresiones y un depósito de expansión para absorber las diferencias de volumen al dilatar el glicol. Asimismo, se dispone de un vaso de expansión en el circuito secundario a pesar de ser un circuito abierto, puesto que puede ocurrir momentos de no realizarse consumo pero si estar aportando energía, con lo cual ocurre un cambio de volumen al variar la temperatura del agua almacenada que hay que absorber.

IV.4 PROPIEDADES DE LA MEZCLA GLICOL/AGUA

Se utiliza propilenglicol mezclado con agua en el circuito primario porque el punto de congelación de la mezcla es menor que el del agua, evitando así averías en la instalación cuando no esté funcionando en invierno con bajas temperaturas. Igualmente, la mezcla tiene un mayor punto de ebullición, asegurando que la instalación no contendrá vapor lo cual destruiría los elementos de la instalación como bombas y paneles. Otro de los motivos de usar propilenglicol es que este contiene aditivos que reducen la corrosión en las tuberías y evitan la formación de incrustaciones. Esto es especialmente necesario para prolongar la vida de la instalación, sobre todo en lo referente a las bombas y el intercambiador de calor.

Debido a las distintas condiciones de cada ciudad, es requerido un distinto porcentaje de glicol en disolución con agua. Este porcentaje se puede obtener de grafica de la página 71 del DTIE 8.03, según se manifiesta en la Ilustración 5



Variación de la temperatura de congelación con la proporción de propilenglicol en agua.

Ilustración 5: Temperatura de congelación del glicol en relación al porcentaje en peso

Si nos atenemos a la temperatura mínima histórica en la ciudad de Alicante, encontramos que esta es de -5°C , según fuentes de Censolar. Por tanto, si tomamos un 12% según el DTIE estaremos en los valores adecuados.

Para determinar de una forma más exacta las propiedades de la mezcla que usaremos en los cálculos, nos basamos en el catálogo de “M.Conde”, que establece unas ecuaciones que relacionan la concentración de propilenglicol con diversos parámetros como la temperatura de congelación, la densidad, el calor específico, la conductividad térmica, la viscosidad dinámica o el número de Prandtl.

Para el cálculo disponemos en el citado catalogo de la Tabla 14 que proporciona las constantes que dan lugar a los modelos matemáticos de las propiedades del fluido, así como graficas para cada parámetro. Se exponen a continuación:

Parámetro Orden (A)	ρ (Kg/m ³)	Cp (Kj/kg·K)	K (W/m·K)	Pr	Tcong (K)
0	1
1	508,411	4,476	1,188	6,661	-0,037
2	-182,408	0,608	-1,491	-6,994	-0,400
3	965,765	0,714	-0,696	-18,551	...
4	280,291	-1,938	1,136	152,046	...
5	-472,225	0,478	0,067	14,477	...

Tabla 14: Constantes para el cálculo de parámetros físicos del propilenglicol.
Fuente: M. Conde engineering (19)



La concentración de propilenglicol según el M. Conde emgineering se calcula de la siguiente forma, siendo la temperatura mínima -5 °C:

$$T_{\text{Congelación}} = (A_{T0} + A_{T1} \cdot \varepsilon + A_{T2} \cdot \varepsilon^2) \cdot 273.15 \Rightarrow \varepsilon = 0,1726 \text{ Ecuación 4}$$

Con lo cual usaremos un 18% de glicol al llenar la instalación en vez del 12% que nos sugería el DTIE.

Las propiedades termo físicas para dicha disolución se pueden obtener en función de la temperatura de trabajo y concentración en peso. Dichas propiedades se tomarán para un valor medio de 40 °C, aunque en el circuito primario esta temperatura cambiara en función del punto en el que nos encontremos, siendo la mayor temperatura a la salida del colector y menor a la entrada. Hay que destacar que la variación de las propiedades termofísicas con la temperatura es bastante pequeña por lo que no generarán errores de cálculo significativos.

Una vez conocida la concentración de propilenglicol necesaria, la usaremos para calcular la densidad, así como el resto de los demás parámetros mencionados anteriormente, según las formulas del catalogo M. Conde, aunque también se pueden obtener gráficamente:

Densidad:

$$\rho = A_{\rho1} + A_{\rho2} \cdot \varepsilon + A_{\rho3} \cdot \frac{273,15}{313,15} + A_{\rho4} \cdot \varepsilon \cdot \frac{273,15}{313,15} + A_{\rho5} \cdot \left(\frac{273,15}{313,15} \right)^2 \text{ Ecuación 5}$$

$$\rho = 1.002,7 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Calor específico:

$$Cp = A_{Cp1} + A_{Cp2} \cdot \varepsilon + A_{Cp3} \cdot \frac{273,15}{313,15} + A_{Cp4} \cdot \varepsilon \cdot \frac{273,15}{313,15} + A_{Cp5} \cdot \left(\frac{273,15}{313,15} \right)^2 \text{ Ecuación 6}$$

$$Cp = 3.678,2 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

Conductividad:

$$k = A_{k1} + A_{k2} \cdot \varepsilon + A_{k3} \cdot \frac{273,15}{313,15} + A_{k4} \cdot \varepsilon \cdot \frac{273,15}{313,15} + A_{k5} \cdot \left(\frac{273,15}{313,15} \right)^2 \text{ Ecuación 7}$$

$$k = 0,54 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$



IV.5 DIMENSIONADO ANUAL SIN TENER EN CUENTA EL VIENTO MEDIANTE MATHCAD

En una primera simulación realizamos el cálculo del área de paneles necesaria para obtener una fracción solar determinada, la cual en este caso es de un 70% como hemos calculado anteriormente. En este primer paso no tendremos en cuenta las pérdidas debidas al viento, pues posteriormente comprobaremos que para el número de paneles obtenido, y teniendo en cuenta las pérdidas, se consigue como mínimo la fracción solar requerida.

Para ello, tendremos que resolver un sistema de siete ecuaciones con siete incógnitas, donde las incógnitas son las siguientes:

- T_{co} Temperatura de entrada del glicol al colector
- T_{ci} Temperatura de salida del glicol del colector
- T_{ici} Temperatura de entrada del agua al intercambiador
- T_{ico} Temperatura de salida del agua del intercambiador
- T_t Temperatura del agua en el interior del tanque
- T_{cons} Temperatura a la salida del depósito para consumo
- A Área de captación.

En esta primera iteración, realizamos el cálculo para medias anuales, de tal manera que la incógnita será el área de captación, que debe de ser coherente con el valor obtenido anteriormente de 3 captadores. Posteriormente, calcularemos con medias mensuales para ser más precisos, fijando el número de paneles que hemos obtenido en este primer cálculo y pasando a ser ahora la fracción solar nuestra incógnita. Al tener fijado el número de paneles, el resultado debe de ser cercano a 70%, si fuese inferior, aumentaríamos el número de paneles.

Para facilitar la tarea se ha usado el programa de cálculo matemático por ordenador Mathcad.

Como datos conocidos de partida se han usado los valores de propiedades de glicol obtenidos en el anterior apartado anterior, que son los siguientes:

$$\rho = 1002,7 \frac{kg}{m^3} \quad Cp = 3678,2 \frac{J}{kg \cdot K} \quad k = 0,54 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Igualmente, los datos para el agua obtenidos anteriormente a partir de la Tabla 5 se muestran a continuación:

$$\rho = 994,1 \frac{kg}{m^3} \quad Cp = 4178,5 \frac{J}{kg \cdot K}$$



Otros datos que conocemos son:

- ✓ I Irradiación anual, calculada anteriormente a partir de la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, cuyo valor es de $18,39 \text{ MJ/m}^2$ al año sobre el plano horizontal. A partir de este valor, y teniendo en cuenta las horas de sol y el ángulo de inclinación de los paneles, se obtiene I_t o irradiación en el plano inclinado, cálculo realizado anteriormente como G , y cuyo resultado es de $806,10 \text{ W/m}^2$.
- ✓ η Rendimiento del colector solar, puesto que no toda la energía que llega se convierte en calor útil. Inicialmente se toma $0,721$ según se calculó anteriormente.
- ✓ T_{amb} Temperatura ambiente. En media anual $18,54 \text{ }^\circ\text{C}$, según Tabla 21
- ✓ T_{red} Temperatura de agua de red a la entrada del depósito. En media anual será de $12,3 \text{ }^\circ\text{C}$ según se vio anteriormente en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**
- ✓ m_{cons} Gasto másico de consumo de agua. Del cálculo de la demanda sabemos que son $200,75 \text{ m}^3$ de agua al año, lo que se traduce en $0,017 \text{ kg/s}$ usando la densidad del agua y teniendo en cuenta 9 horas de sol en media diaria (dado que no nos importa que se consuma por la noche, puesto que este consumo es de agua que ha sido almacenada durante el día. Es decir, en las 9 horas tenemos que calentar toda el agua que se consuma en un día).
- ✓ T_{sum} Temperatura de suministro a las viviendas. Se toma $60 \text{ }^\circ\text{C}$
- ✓ E_{ic} Eficiencia del intercambiador. La fijamos en 0.7
- ✓ m_1 Gasto másico de agua glicolada en el circuito primario. El fabricante de los paneles recomienda 110 l/h por panel en su hoja de características. Como anteriormente hemos hecho una estimación de 3 paneles solares, tomaremos 330 l/h . Esto es $0,092 \text{ kg/s}$ tomando la densidad del agua glicolada calculada anteriormente para el 18% de glicol en agua.
- ✓ m_2 Gasto másico en el circuito secundario. Tomamos el caudal igual en ambos lados del intercambiador para facilitar el diseño del mismo, y debido a la diferente densidad del agua y el glicol tenemos que este valor es de $0,091 \text{ kg/s}$, muy parecido pero no exactamente iguales.

Una vez que tenemos los datos y sabemos cuáles son las incógnitas, procedemos a definir las ecuaciones a resolver.

1. Balance de energía en los colectores solares. Tomando un balance estacionario, la energía que llega a los colectores es igual a la energía evacuada mediante el fluido, traducida en aumento de su temperatura.

$$I_T \cdot A \cdot \eta = \dot{m}_1 \cdot C_{p1} \cdot (T_{co} - T_{ci}) \quad \text{Ecuación 8}$$



- Balance de energía en el intercambiador de calor. La energía perdida por el fluido del circuito primario se compensa con la energía ganada en el circuito secundario.

$$\dot{m}_1 \cdot Cp_1 \cdot (T_{co} - T_{ci}) = \dot{m}_2 \cdot Cp_2 \cdot (T_{ico} - T_{ici}) \quad \text{Ecuación 9}$$

- Eficiencia en el intercambiador de calor. Esta ecuación tiene en cuenta que en un intercambiador nunca se consigue transferir el 100% de la energía de un fluido al otro.

$$\varepsilon_{IC} = \frac{\dot{m}_2 \cdot Cp_2 \cdot (T_{ico} - T_{ici})}{C_{\min} \cdot T_{co} - T_{ici}} \quad \text{Ecuación 10}$$

C_{\min} es el valor mínimo entre $\dot{m}_1 \cdot Cp_1$ y $\dot{m}_2 \cdot Cp_2$

- Balance de energía en el depósito. En esta ecuación relacionamos la energía que entra en el depósito y la energía extraída del depósito.

$$\dot{m}_2 \cdot Cp_2 \cdot (T_{ico} - T_{ici}) = \dot{m}_{cons} \cdot Cp_{cons} \cdot (T_{cons} - T_{red}) \quad \text{Ecuación 11}$$

- Contribución solar anual (f). Es el porcentaje de energía requerida para aumentar la temperatura del agua desde la temperatura de red hasta la de consumo obtenido mediante energía solar.

$$f = \frac{(T_{cons} - T_{red})}{(T_{sum} - T_{red})} \quad \text{Ecuación 12}$$

- Grado de estratificación del tanque. Este valor sirve para representar la diferencia de temperatura en el tanque entre el nivel superior y el inferior. dado que cuanto más fría se coja el agua hacia los paneles, mayor es el rendimiento de estos, nos interesa que la estratificación sea la mayor posible. Estimamos un valor inicial de 0,25.

$$E_T = \frac{(T_{cons} - T_T)}{(T_{ico} - T_T)} \quad \text{Ecuación 13}$$

- Temperatura media en el tanque. Es el valor medio entre la temperatura en el punto más caliente que será la entrada de agua caliente en la parte superior y el punto más frío, que será la entrada de agua de red en el punto inferior.

$$T_t = \frac{T_{ico} \cdot \dot{m}_2 + T_{red} \cdot \dot{m}_{cons}}{\dot{m}_2 + \dot{m}_{cons}} \quad \text{Ecuación 14}$$



Una vez definidas las ecuaciones, los valores y las incógnitas, resolvemos mediante Mathcad obteniendo los siguientes resultados en la Tabla 15:

Temperatura entrada intercambiador	Tci	43,95º C
Temperatura salida intercambiador	Tico	50,08º C
Temperatura entrada colector	Tci	46,91º C
Temperatura salida colector	Tco	53,81º C
Temperatura media tanque	Tt	44,23º C
Temperatura de consumo	Tcons	45,69º C
Área	A	4,04 m ²

Tabla 15: Resultados del sistema de ecuaciones para media anual sin tener en cuenta el viento.

Dado que el número de paneles tiene que ser una cifra entera, y la superficie de captación según el fabricante es de 2,205 m², redondeando a la cifra mayor tendremos que situar en la instalación 3 paneles. Este valor coincide con la estimación anteriormente realizada.

Por tanto, el área de captación queda fija para los siguientes pasos en la cantidad de 6,615 m²

Una vez fijado el numero de paneles en 3, realizamos el mismo sistema de ecuaciones, pero esta vez f es una incógnita y A es un dato fijo. Los resultados que se obtienen son los siguientes, mostrados en la Tabla 16

Temperatura entrada intercambiador	Tci	64,10 ºC
Temperatura salida intercambiador	Tico	74,13 ºC
Temperatura entrada colector	Tci	68,94 ºC
Temperatura salida colector	Tco	80,23 ºC
Temperatura media tanque	Tt	64,55 ºC
Temperatura de consumo	Tcons	66,95 ºC
Fracción solar	f	1,15

Tabla 16: Resultados del sistema de ecuaciones para media anual sin tener en cuenta el viento.

Dado que el cálculo implica redondear a un número entero de paneles, el valor de f es muy superior al 70% fijado, pero si fuera un número inferior (2 colectores) no sería suficiente. No obstante, en los siguientes apartados recalculemos teniendo en cuenta las pérdidas debidas al viento.

IV.6 DIMENSIONADO ANUAL TENIENDO EN CUENTA EL VIENTO

Debido a que el cálculo del rendimiento de los paneles no tiene en cuenta las pérdidas provocadas por el viento, y que estas son importantes si la velocidad del viento es elevada habitualmente, procederemos a corregir el balance de energía de los colectores en la primera ecuación restando la energía perdida por este efecto.

Basándonos en las ecuaciones de transferencia de calor y realizando un balance de energía estacionario, podemos obtener el comportamiento del colector y las pérdidas en función de la velocidad y dirección del viento, de la temperatura ambiente, de las temperaturas del agua, de la radiación que llega al colector y de variables como la cantidad de colectores y su tamaño (pues influye en la transferencia de calor, por el cambio de número de Reynolds cuando el viento pasa sobre los paneles).

Para calcular las pérdidas debidas al viento, realizamos un esquema de las ramas de resistencias térmicas, tal como se muestra en la Ilustración 6

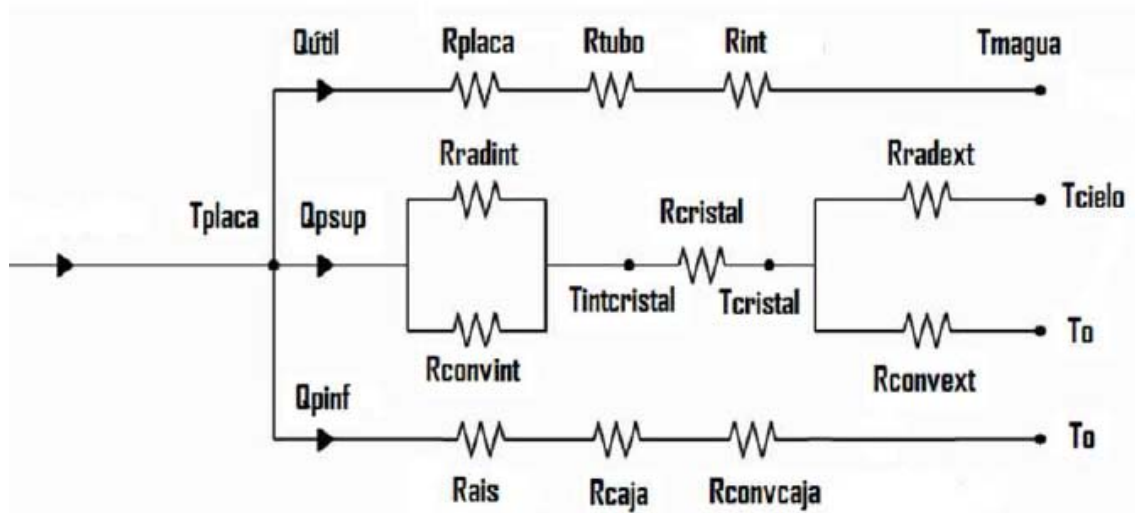


Ilustración 6. Esquema de las resistencias térmicas asociadas al colector solar

La rama útil, mostrada en la parte superior del dibujo, se refiere a las pérdidas entre la parte superior de la placa y el agua glicolada, y representa el calor útil.

La rama de pérdidas superior muestra las resistencias que se encuentran entre la placa y la parte superior del captador.

La rama de pérdidas inferior muestra las resistencias entre la placa y la cara inferior del captador

Para obtener los flujos de calor correspondientes tendremos que obtener las resistencias que intervienen, que se muestran en el esquema:



En la rama útil:

- R_{placa} : Resistencia térmica de conducción de la placa. Es una transferencia de calor no lineal y se obtiene experimentalmente. Se fija en 0,012 W/K
- R_{tubo} : Resistencia de conducción a través del tubo de cobre.
- R_{int} : Resistencia de convección en el interior del tubo de cobre

En la rama de pérdidas superior:

- R_{cristal} : Resistencia de conducción en el cristal
- R_{radext} : Resistencia térmica de radiación en el exterior del cristal
- R_{convext} : Resistencia térmica de convección en el exterior del cristal
- R_{radint} : Resistencia térmica de radiación en la cámara de aire
- R_{convint} : Resistencia térmica de convección interior en la cámara de aire.

En la rama de pérdidas inferior:

- R_{ais} : Resistencia térmica de conducción en el aislante.
- R_{caja} : Resistencia térmica de conducción en la caja
- R_{convcaja} : Resistencia térmica de convección en la parte exterior de la caja, por la parte trasera del colector.

Para calcular estas resistencias, se realiza la siguiente metodología:

❖ Rama pérdidas inferior

- R_{ais} :

La resistencia térmica de conducción en el aislante depende del tipo de aislante y de su espesor. Como procedimiento de cálculo se toma el siguiente:

$$R_{\text{ais}} = \frac{e_{\text{aislante}}}{k_{\text{ais}} \cdot A} = 0,23 \text{ K / W} \quad \text{Ecuación 15}$$

Siendo k_{aislante} dato del fabricante, que especifica que se usa lana de roca de 55 mm de espesor cuyo k es de 0,036 W/m·K, y siendo A el área del captador.



➤ R_{caja} : Resistencia térmica de conducción en la caja

Dado que la caja está fabricada en aluminio, y el espesor de la parte trasera es de 1 mm, sabiendo la conductividad del aluminio la cual es 210 W/m·K, se obtiene:

$$R_{\text{caja}} = \frac{e_{\text{caja}}}{k_{\text{al}} \cdot A} = 7,2 \cdot 10^{-7} \text{ K / W} \quad \text{Ecuación 16}$$

➤ R_{convcaja} :

Para obtener esta resistencia se usan las correlaciones para una placa sometida a la acción del viento de tal manera que se crea una convección forzada.

El primer paso es calcular el número de Reynolds en la cara trasera que será necesario posteriormente para obtener el Nusselt, que siendo flujo paralelo:

$$Re = \frac{\rho_{\text{aire}} \cdot V_{\text{viento}} \cdot L}{\mu_{\text{aire}}} = 582.011 \quad \text{Ecuación 17}$$

Ahora resolvemos el número Nusselt, para ello se usa la siguiente correlación empírica, dada en el estudio sobre transferencia de calor en colectores solares planos de M.C. Rodríguez (21):

$$Nu_{\text{inf}} = 8,948 \cdot Re^{0,385} \cdot Pr^{\frac{1}{3}} = 1.318,7 \quad \text{Ecuación 18}$$

Y con este número, obtenemos R_{convcaja} como:

$$R_{\text{convcaja}} = \frac{1}{h_L \cdot A} = \frac{1}{\frac{Nu \cdot k_{\text{aire}}}{L} \cdot A} = 0,01323 \text{ K / W} \quad \text{Ecuación 19}$$

Y resumiendo los resultados obtenidos para la rama inferior:

- R_{ais} : → 0,23 K/W
- R_{caja} : → $0,72 \cdot 10^{-6}$ K/W
- R_{convcaja} : → 0,01323 K/W

Y como son resistencias en serie:

$$R_{\text{eqinf}} = R_{\text{ais}} + R_{\text{caja}} + R_{\text{convcaja}} = 0,243 \text{ K/W}$$



❖ Rama útil

➤ R_{tubo}

De las ecuaciones de la termodinámica tenemos que en un tubo en el que circula líquido por el interior, la resistencia térmica de convección cumple la siguiente ecuación:

$$R_{\text{tubo}} = \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2 \cdot \pi \cdot K_{\text{cu}} \cdot L_{\text{tubo}}} \quad \text{Ecuación 20}$$

En donde r_2 es el radio exterior, r_1 es el radio interior, L_{tubo} es la longitud del tubo y K_{cu} es la conductividad del cobre, cuyo valor es de $380 \text{ W/m}\cdot\text{K}$

Las medidas del tubo de cobre las obtenemos de los datos del fabricante según las hojas técnicas que se adjuntan en el anexo, siendo la longitud de 2 m y su diámetro interior 8 mm, así como el espesor de pared de 0,5 mm. Por tanto r_2 es 4,5 mm y r_1 4 mm.

Con estos datos, tenemos que:

$$\underline{R_{\text{tubo}} = 24,67 \cdot 10^{-6} \text{ K/W}}$$

➤ R_{int}

Para hallar esta resistencia de convección interior en una tubería, se utiliza la siguiente fórmula:

$$R_{\text{int}} = \frac{1}{h_{\text{ci}} \cdot L_c \cdot 2 \cdot \pi \cdot r_{\text{int}}} \quad \text{Ecuación 21}$$

Donde el radio interior es de 8 mm, la longitud del tubo es de 2m y h se calcula mediante la ecuación:

$$h_{\text{ci}} = \frac{Nu \cdot k_{\text{glicol}}}{d_{\text{int}}} \quad \text{Ecuación 22}$$

La conductividad del glicol calculada anteriormente es de $0,54 \text{ W/m}\cdot\text{K}$, el diámetro interior es de 8 mm, y el número de Nusselt se calcula mediante la ecuación de Dittus-Boelter como se expone a continuación, siendo el flujo laminar:

$$Nu_D = 0,023 \cdot Re_D^{4/5} \cdot Pr^{0,4} \quad \text{Ecuación 23}$$

Y donde Reynolds es:

$$Re_D = \frac{4 \cdot m}{\pi \cdot D_{\text{int}} \cdot \mu} \quad \text{Ecuación 24}$$



Siendo m el gasto másico que pasa por un tubo, diámetro interior 8 mm, μ del glicol $2,5 \cdot 10^{-3} \text{ N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$ y Prandtl del glicol calculado como:

$$Pr_{\text{glicol}} = \frac{c_g \cdot \mu_g}{k_g} = 16,95 \quad \text{Ecuación 25}$$

Dado que el gasto másico por tres colectores ha sido calculado anteriormente como 0,092 kg/s, y en cada panel hay 10 tubos secundarios, el gasto másico en cada tubo es de 0,003 kg/s de glicol.

Por tanto, Re_d es igual a 195, encontrándonos en régimen laminar al ser $Re_d < 2300$ y por tanto pudiendo aplicar la ecuación de Dittus-Boelter mostrada anteriormente. De esta manera, el número de Nusselt calculado es 4,848 y este se aplica para obtener h_{ci} , dando como resultado $328,64 \text{ W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$.

Ahora que disponemos de todos los datos, podremos calcular R_{int} , dando como resultado:

$$R_{\text{int}} = 0,061 \text{ K/W}$$

Con todas las resistencias de la rama útil calculadas, la resistencia útil es la suma de ellas:

$$R_{\text{equil}} = R_{\text{placa}} + R_{\text{int}} + R_{\text{tubo}} = 0.073 \quad \text{Ecuación 26}$$

❖ Rama perdidas superior

Para hallar las perdidas en la cara superior, empezamos calculando T_{cielo} . Mediante la correlación dada por Swinbank (22), la cual es válida para $3^\circ\text{C} < T_{\text{amb}} < 45^\circ\text{C}$

$$T_{\text{cielo}} = 0,0552 \cdot (T_{\text{amb}})^{1,5} \quad \text{Ecuación 27}$$

De lo cual se obtiene que $T_{\text{cielo}} = 274,99 \text{ K}$

Calculamos ahora las resistencias implicadas como sigue

➤ R_{cristal} :

$$R_{\text{cristal}} = \frac{e_{\text{cristal}}}{k_{\text{cristal}} \cdot A_{\text{cristal}}} \quad \text{Ecuación 28}$$

Donde:

Espesor del cristal	4 mm
k_{cristal}	1,16 W/m·K
A_{cristal}	2,205 m ²

Resultando:

$$R_{\text{cristal}} = 1,56 \cdot 10^{-3} \text{ K/W}$$



➤ R_{radext} :

Debido a la diferencia de temperatura entre el cristal y el ambiente, se crea una emisión de radiación que reducirá la temperatura del cristal. La resistencia se calcula (21):

$$R_{\text{radext}} = \frac{1}{\varepsilon_{\text{ircristal}} \cdot \sigma \cdot A_t \cdot [(T_{\text{cristal}})^2 + (T_{\text{cielo}})^2] \cdot (T_{\text{cristal}} + T_{\text{cielot}})} \quad \text{Ecuación 29}$$

Siendo:

$\varepsilon_{\text{ircristal}}$ dato que nos da el fabricante en 0,91%,
Constante de Boltzman $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-08} \text{ W/m}^2\text{K}^4$
Temperatura de cielo calculada anteriormente = 274,99 K
Temperatura de cristal = $1,042 \cdot T_{\text{amb}} - 2,34\text{K} = 301,6 \text{ K}$

Por tanto:

$$\underline{R_{\text{radext}} = 0,308 \text{ K/W}}$$

➤ R_{convext} :

Para calcular esta resistencia, que es debida a la convección natural creada en la cara exterior del cristal al incidir sobre ella una corriente de aire (el viento) tenemos que primeramente observar como es esta corriente, es decir su dirección y su velocidad.

Para ello, nos valemos de los datos reflejados en la Tabla 17 en la que se obtiene la velocidad media del viento en cada mes y anualmente. El valor observado es 11,3 km/h.

Dado que también es importante la dirección, puesto que implicara que sea flujo paralelo o transversal, encontramos la dirección predominante para cada mes en la página web www.windfinder.com (14), resumiendo los valores medios en la Tabla 18. El resultado es que la dirección preponderante es Este-Oeste (viento del levante) en verano y Oeste-Este (viento de poniente) en invierno. Dado que los paneles están orientados al sur, esto nos permite decir que la gran mayoría del tiempo estaremos en flujo paralelo, puesto que el viento no incide en su cara perpendicularmente sino longitudinalmente al panel.

La resistencia por convección exterior se calcula:

$$R_{\text{convext}} = \frac{1}{h_{\text{conext}} \cdot A_{\text{cristal}}} = \frac{1}{\frac{Nu \cdot k_{\text{aire}}}{L_{\text{ccristal}}} \cdot A_{\text{cristal}}} \quad \text{Ecuación 30}$$

Dado que nos encontramos en flujo paralelo, el Nusselt viene dado por correlación empírica dada por M.C. Rodríguez (21):

$$Nu = 0.105 \cdot Re_{\text{pf}}^{0,646} \cdot Pr^{1/3} = 494,6 \quad \text{Ecuación 31}$$



Siendo la $k_{\text{aire}} = 0,026 \text{ W/m}\cdot\text{K}$, Prandtl calculado en 0,703 y Re en una superficie plana se obtiene de:

$$\text{Re} = \frac{\rho_{\text{aire}} \cdot V_{\text{viento}} \cdot L}{\mu_{\text{aire}}} = 582.011 \quad \text{Ecuación 32}$$

Dado que en nuestro caso tenemos una batería de 3 colectores seguidos uno de otro, la Longitud característica será 3 veces el ancho del colector, la cual es de 1m. Por tanto L es 3m.

Y resolviendo:

$$\underline{R_{\text{convext}} = 0,0352 \text{ K/W}}$$

➤ R_{radint} :

La resistencia por radiación en el interior del panel, es decir, en el espacio que queda entre la placa y el cristal se calcula mediante la ecuación (21):

$$R_{\text{rad int}} = \frac{(\varepsilon_{\text{ircristal}} + \varepsilon_{\text{irplaca}} - \varepsilon_{\text{ircristal}} \cdot \varepsilon_{\text{irplaca}})}{\varepsilon_{\text{ircristal}} \cdot \varepsilon_{\text{irplaca}} \cdot \sigma \cdot A_t \cdot \left[(T_{\text{placa}})^2 + (T_{\text{int cristal}})^2 \right] \cdot (T_{\text{placa}} + T_{\text{int cristal}})}$$

Ecuación 33

Sabiendo que $\varepsilon_{\text{ircristal}} = 0.09$ (dato del fabricante: transmitancia = 91%) y $\varepsilon_{\text{irplaca}} = 0.1$, T_{placa} se da un valor inicial de 100°C , y

$$T_{\text{int cristal}} = \left(\frac{T_{\text{cristal}} - T_{\text{cielo}}}{R_{\text{radext}}} + \frac{T_{\text{cristal}} - T_0}{R_{\text{convext}}} \right) \cdot R_{\text{cristal}} + T_{\text{cristal}} = 302,18 \text{ K} \quad \text{Ecuación 34}$$

Con todo esto, el resultado es:

$$\underline{R_{\text{radint}} = 0,5179 \text{ K/W}}$$



Velocidad del viento medias mensuales por años y meses. (Alicante/El Altet)

Unidad: Km/h

	Total	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1999	11.379	13.64	13.43	12.09	11.5	11.26	11.48	9.91	8.81	10.04	10.54	11.27	12.58
2000	10.933	8.79	11.21	10.35	15.8	10.97	10.74	10.94	8.85	8.38	11.48	12.96	10.73
2001	11.822	14.19	11.39	12.71	12.22	11.21	11.25	11.91	11.09	11.64	9.06	12.24	12.95
2002	11.738	11.23	11.62	12.51	11.3	13.07	13.77	10.51	9.94	9.26	12.03	13.43	12.19
2003	11.328	14.41	14.33	11.98	11.57	9.36	9.42	9.93	9.05	10.86	10.81	11.65	12.56
2004	11.279	14.04	9.73	12.68	12.04	10.42	9.8	10.7	10.56	10.66	9.99	10.4	14.33
2005	10.976	10.02	13.03	10.69	12.2	11.39	9.59	11.14	10.44	10.29	9.25	12	11.67
2006	11.084	9.96	10.66	13.78	11.33	12.08	11.36	9.56	10.8	10.52	9.78	11.23	11.95
2007	11.353	12.07	12.3	14.81	10.35	12.51	10.14	10.8	11.91	10.79	9.73	8.04	12.79
2008	11.070	9.92	11.96	14.69	11.37	9.58	9.35	9.79	10.03	10.46	12.67	10.98	12.04
Media	11.30	11.83	11.97	12.63	11.97	11.19	10.69	10.52	10.15	10.29	10.53	11.42	12.38

1) Fuente de información:
Meteored

Tabla 17: Velocidad media del viento por meses en Alicante/ El Altet.
Fuente: Meteored (8)

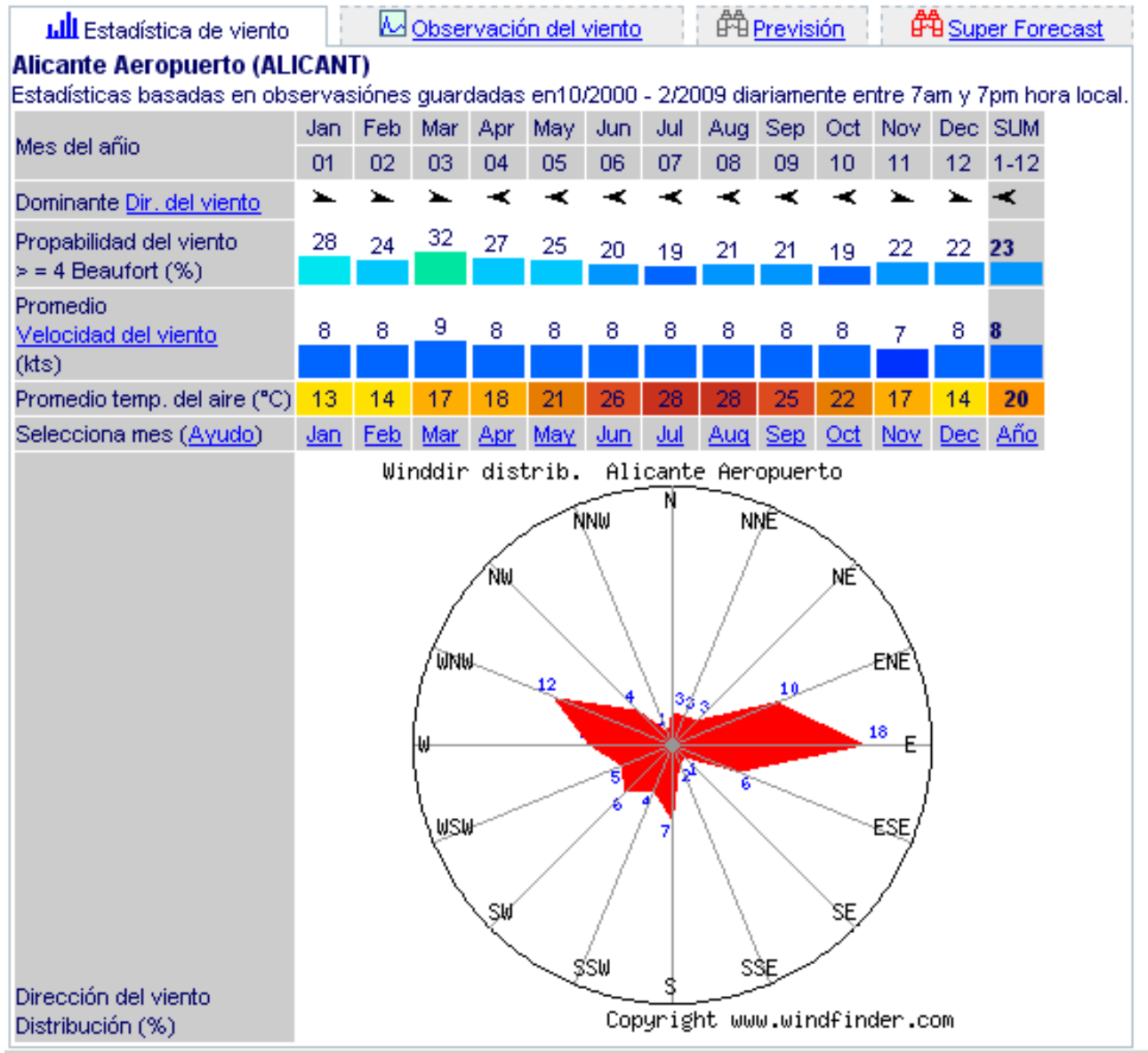


Tabla 18: Dirección predominante del viento en Alicante según el mes

Fuente: Windfinder.com (14)

➤ $R_{convint}$:

La convección debida a la capa de aire que se encuentra en el interior del panel, entre la placa y el cristal, nos da la resistencia de convección interior. Esta se calcula:

$$R_{convint} = \frac{1}{h_{conint} \cdot A} = \frac{1}{\frac{Nu_i \cdot k_{aire}}{L_{interior}} \cdot A} \quad \text{Ecuación 35}$$

Numero de Nusselt en el interior. M.C. Rodríguez (21):

$$Nu = 4,328 \cdot 10^{-10} \cdot Ra^2 - 1,478 \cdot 10^{-6} \cdot Ra + 1,001 \quad \text{Ecuación 36}$$



Raleigh:

$$Ra = \frac{g \cdot \beta_t \cdot (T_{placa} - T_{cristal}) \cdot L_{ci}^3}{\alpha_a \cdot \nu_{aire}} = 87,2 \quad \text{Ecuación 37}$$

Siendo:

$$L_{interior} = 5 \text{ cm}$$

$$g = 9,8 \text{ m/s}^2,$$

$$\beta = 3,67 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1},$$

$$\text{Difusividad térmica del aire } \alpha = 2,167 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\text{Viscosidad cinemática del aire } \nu = 1,589 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

De tal manera que $Nu = 1,0008$, y sustituyendo:

$$R_{convint} = 0,29 \text{ K/W}$$

Resumiendo los resultados obtenidos, tenemos para la rama superior:

➤ $R_{cristal}$	→	0,00156 K/W
➤ R_{radint}	→	0,5179 K/W
➤ $R_{convint}$	→	0,29 K/W
➤ R_{radext}	→	0,308 K/W
➤ $R_{convext}$	→	0,0352 K/W

Donde, al estar R_{radint} y $R_{convint}$ en paralelo:

$$R_{eq \text{ sup } 1} = \frac{R_{rad \text{ int}} \cdot R_{conv \text{ int}}}{R_{rad \text{ int}} + R_{conv \text{ int}}} + R_{cristal} \quad \text{Ecuación 38}$$

Y resolviendo, $R_{eqsup1} = 0,186 \text{ K/W}$

- Calculo de las pérdidas de calor en la rama inferior

$$Q_{p \text{ inf}} = \frac{T_{placa} - T_0}{R_{eq \text{ inf}}} = 329.88 \text{ W} \quad \text{Ecuación 39}$$

- Calculo de las pérdidas de calor en la rama útil

$$Q_{util} = \frac{T_{placa} - T_g}{R_{equtil}} = 507.89 \text{ W} \quad \text{Ecuación 40}$$



- Calculo de las pérdidas de calor en la rama superior

Para calcular Q_{psup} , tenemos que tener en cuenta que las resistencias de convección exterior y radiación exterior no tienen la misma temperatura a ambos lados, con lo cual no son en paralelo. Por ello, la manera de calcular el flujo de calor es, sabiendo la temperatura exterior del cristal, la siguiente:

$$Q_{psup} = \frac{T_{placa} - T_{cristal}}{R_{eq\ sup\ 1}} \quad \text{Ecuación 41}$$

O también se puede obtener con la suma del calor que fluye por las dos ramas exteriores

$$\frac{T_{cristal} - T_0}{R_{convext}} + \frac{T_{cristal} - T_{cielo}}{R_{radext}} \quad \text{Ecuación 42}$$

De cualquiera de las dos formas, el Q_{psup} debe ser el mismo, pues todo el calor pasa por el punto de temperatura exterior del cristal.

Por tanto, el calor perdido por la rama superior será:

$$Q_{psup} = \frac{T_{placa} - T_{cristal}}{R_{eq\ sup\ 1}} = 376,45\ W \quad \text{Ecuación 43}$$

$$Q_{psup} = \frac{T_{cristal} - T_0}{R_{convext}} + \frac{T_{cristal} - T_{cielo}}{R_{radext}} = 367,29\ W \quad \text{Ecuación 44}$$

Debido a que se omiten decimales en los cálculos, y a pequeños errores introducidos al usarse correlaciones empíricas para algunos cálculos, existe una mínima discrepancia la cual no es significativa.

Para dimensionar el número de paneles teniendo en cuenta estas pérdidas que hemos calculado por la cara delante y por la cara trasera, únicamente hay que modificar el sistema de ecuaciones de tal manera que el balance de energía en los paneles queda al añadir estas pérdidas como sigue:

$$I_T \cdot A \cdot \eta - Q_{psup} - Q_{p\ inf} = \dot{m}_1 \cdot C_{p1} \cdot (T_{co} - T_{ci}) \quad \text{Ecuación 45}$$

El resto de ecuaciones queda invariable, no así el resultado pues al realizar el recalcu con las nuevas condiciones de la primera ecuación, se obtiene la Tabla 19:

Tabla 19



Temperatura entrada intercambiador	Tci	43,95º C
Temperatura salida intercambiador	Tco	50,08º C
Temperatura entrada colector	Tci	46,91º C
Temperatura salida colector	Tco	53,81º C
Temperatura media tanque	Tt	44,23º C
Temperatura de consumo	Tcons	45,69º C
Área	A	5,15 m ²

Tabla 19: Resultados del sistema de ecuaciones para media anual con pérdidas por viento.

Al igual que en el cálculo sin pérdidas por viento, el número de paneles tiene que ser una cifra entera, y como la superficie de captación según el fabricante es de 2,205 m², redondeando a la cifra mayor tendremos que situar en la instalación 3 paneles. Este valor coincide con la estimación anteriormente realizada.

Por tanto, el área de captación queda fija para los siguientes pasos en la cantidad de 6,615 m²

Una vez fijado el número de paneles en 3, realizamos de nuevo el mismo sistema de ecuaciones con pérdidas por viento, pero esta vez f es una incógnita y A es un dato fijo. Los resultados que se obtienen son los siguientes, mostrados en la Tabla 20

Temperatura entrada intercambiador	Tci	55,44º C
Temperatura salida intercambiador	Tco	63,76º C
Temperatura entrada colector	Tci	59,44º C
Temperatura salida colector	Tco	68,84º C
Temperatura media tanque	Tt	55,79º C
Temperatura de consumo	Tcons	57,78º C
Fracción solar	f	0,95

Tabla 20: Resultados del sistema de ecuaciones para media anual sin pérdidas por viento.

Como se puede observar, debido a que ahora tenemos en cuenta las pérdidas por viento, las temperaturas en media anual son menores que cuando calculamos sin tener en cuenta estas pérdidas, así como el factor solar, el cual aun sigue por encima del valor del 70% que necesitamos con lo que no tendremos que aumentar el número de colectores. Por tanto, sigue siendo válida la cantidad de 3 colectores solares.



IV.7 DIMENSIONADO MENSUAL SIN TENER EN CUENTA EL VIENTO MEDIANTE MATHCAD

El procedimiento es el mismo que para las medias anuales, con la diferencia que para cada mes tendremos valores distintos de temperatura ambiente, radiación, temperatura del agua y del glicol, horas de sol, consumo de agua, y propiedades del glicol y del agua debido a su cambio de temperatura. Además, el rendimiento de los colectores también se modificara mes a mes. Por tanto se resuelve el sistema de ecuaciones 12 veces, una por mes, con los datos correspondientes a cada mes. Al haber fijado anteriormente la cantidad de paneles necesaria, que se mantiene obviamente durante todo el año, solo realizaremos la resolución fijando el número de colectores en 3 y siendo la incógnita f .

Por tanto, en primer lugar se muestran los datos medios mensuales de los parámetros que cambian:

Horas de sol media mensual → **Tabla 12: Horas de sol en media mensual en Alicante.**

- Fuente: Instituto nacional de estadística INE (www.ine.es).

Irradiación media mensual → **Tabla 13: Irradiación horaria en Kw·h/m²**

- ; **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**
- Temperatura ambiente media mensual → Tabla 21: Temperatura ambiente en media mensual en Alicante
- Temperatura agua de red media mensual → **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

Velocidad media mensual del viento → **Tabla 17: Velocidad media del viento por meses en Alicante/ El Altet.**

- Fuente: Meteored

Igualmente, se han tenido en cuenta los valores de densidad del agua y calor específico para cada mes tomando los datos obtenidos en el capítulo de cálculo de la demanda energética.

En cuanto a los datos para el glicol, en el cálculo anual en el apartado IV.4 se tomó una estimación de un salto térmico de 40 °C, de donde se desprendían unos valores de densidad, calor específico y conductividad térmica. Para tener en cuenta las variaciones mensuales, se hace el cálculo mes a mes inicialmente con 40 °C para cada mes. Tomando los valores de salida finales de temperatura de entrada y salida al colector para esta primera iteración, se modifican en cada mes el salto térmico, y se recalcula de nuevo.



Entorno físico

Climatología

Temperaturas medias mensuales por región, estación, años y meses.

Unidad: grados centígrados

SURESTE: Alicante (Ciudad Jardín)													
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Media
1997	11,9	13,6	13,8	16,5	19,9	23,7	24,2	25,6	23,7	21,2	16,4	13,5	18,7
1998	12,6	12,6	14,8	17,2	19	23,3	26	26,2	24,4	18,9	15,6	11,4	18,5
1999	11,7	11,6	14,1	17,2	20,8	23,3	25,6	27	24,2	20,1	13,3	12,6	18,5
2000	9,4	14	14,4	17,2	20,7	23,3	25,4	26,1	23,4	19,3	14,8	13,1	18,4
2001	12,8	12,6	17,7	16,7	19,4	23,9	25,6	26,7	23,6	21,2	13,7	11,3	18,8
2002	11,8	12,8	14,8	15,7	18,8	23,7	25	25	23,9	19,9	16,3	14,3	18,5
2003	12	11,6	14,1	16,4	19,5	25,5	27,2	27,8	24,2	19,8	16,1	12,6	18,9
2004	14,1	11,7	13,8	15,4	17,8	24,1	25,6	27,1	25	21,2	14,8	12,3	18,6
2005	10	9,9	13,3	16,8	20,1	24,6	26,3	25,6	23	20,3	14,3	11,8	18
	11,81	12,27	14,53	16,57	19,56	23,93	25,66	26,34	23,93	20,21	15,03	12,54	18,54

Tabla 21: Temperatura ambiente en media mensual en Alicante

1) Fuente de información: Dirección General del Instituto Nacional de Meteorología.

Fuente: Anuario Estadístico de España

Copyright INE 2007



Para corregir la radiación en cada mes en el plano inclinado, usamos la Tabla 22 obtenida de Censolar, del tomo II del “Curso de Instalaciones de Energía Solar”, tabla 6, factor de corrección k para ángulo inclinado, para una latitud de 38° (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) (Alicante se encuentra a $38,4^\circ$) recordando que situamos los colectores con una inclinación de 45°

Latitud	Incli.	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
38	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
38	5	1.07	1.06	1.04	1.03	1.02	1.01	1.02	1.03	1.05	1.07	1.08	1.08
38	10	1.13	1.11	1.08	1.05	1.02	1.02	1.03	1.05	1.09	1.14	1.16	1.16
38	15	1.19	1.15	1.11	1.06	1.03	1.01	1.03	1.07	1.13	1.19	1.23	1.22
38	20	1.24	1.19	1.13	1.07	1.02	1.01	1.02	1.07	1.15	1.24	1.3	1.29
38	25	1.28	1.22	1.14	1.07	1.01	0.99	1.01	1.08	1.17	1.28	1.35	1.34
38	30	1.31	1.24	1.15	1.06	0.99	0.97	0.99	1.07	1.18	1.31	1.4	1.38
38	35	1.34	1.25	1.15	1.04	0.96	0.94	0.97	1.05	1.19	1.34	1.43	1.42
38	40	1.36	1.26	1.14	1.02	0.93	0.9	0.93	1.03	1.18	1.35	1.46	1.45
38	45	1.37	1.26	1.13	0.99	0.89	0.86	0.89	1	1.17	1.36	1.48	1.47
38	50	1.37	1.25	1.1	0.96	0.85	0.81	0.85	0.97	1.15	1.35	1.49	1.48
38	55	1.36	1.23	1.07	0.91	0.8	0.75	0.8	0.92	1.12	1.34	1.49	1.48
38	60	1.35	1.21	1.04	0.86	0.74	0.69	0.74	0.87	1.08	1.32	1.48	1.47
38	65	1.33	1.18	0.99	0.81	0.68	0.63	0.68	0.82	1.04	1.29	1.46	1.45
38	70	1.29	1.14	0.94	0.75	0.61	0.56	0.61	0.76	0.98	1.25	1.43	1.42
38	75	1.25	1.09	0.89	0.69	0.54	0.49	0.54	0.69	0.93	1.2	1.39	1.39
38	80	1.21	1.04	0.83	0.62	0.47	0.42	0.47	0.62	0.86	1.14	1.34	1.34
38	85	1.15	0.98	0.76	0.55	0.4	0.34	0.39	0.55	0.79	1.08	1.29	1.29
38	90	1.09	0.91	0.69	0.47	0.32	0.26	0.31	0.47	0.72	1.01	1.22	1.23

Tabla 22: Factor de corrección k para ángulo inclinado
Fuente: Censolar (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**)

Retomando el sistema de ecuaciones con estos datos para cada mes, los resultados se muestran en la Tabla 23 :

	T_{ici} (K)	T_{ico} (K)	T_{co} (K)	T_{ci} (K)	T_{tanque}	T_{cons} (K)	f
Enero	305.79	312.89	316.45	308.46	306.25	307.91	0.51
Febrero	314.16	322.06	325.97	317.11	314.60	316.46	0.67
Marzo	327.32	336.52	341.00	330.74	327.77	329.96	0.93
Abril	329.38	337.77	341.86	332.50	329.76	331.76	0.97
Mayo	336.61	345.46	349.75	339.89	336.98	339.10	1.13
Junio	341.70	349.62	353.44	344.64	341.98	343.89	1.24
Julio	355.04	363.13	367.02	358.03	355.28	357.24	1.55
Agosto	362.93	371.61	375.76	366.13	363.17	365.28	1.71
Septiembre	342.86	352.35	356.92	346.38	343.25	345.52	1.27
Noviembre	332.14	341.61	346.20	335.66	332.59	334.85	1.04
Octubre	315.77	324.64	329.01	319.08	316.32	318.40	0.70
Diciembre	305.36	313.27	317.23	308.33	305.92	307.75	0.51

IV. Predimensionamiento de la instalación



Tabla 23: Resultados en cálculo mensual sin pérdidas por viento

IV.8 DIMENSIONADO EN MEDIA MENSUAL TENIENDO EN CUENTA LAS PERDIDAS DEBIDAS AL VIENTO

Al igual que en el cálculo medio anual, una vez obtenido el resultado sin pérdidas por viento, se recalcula teniendo en cuenta estas pérdidas, que pueden llegar a ser importantes. Dado que la velocidad del viento no es la misma durante todo el año, y que las temperaturas que obtenemos en el colector tampoco son las mismas, la transferencia de calor variara mensualmente. Es por tanto que en primer lugar hay que obtener las resistencias térmicas en cada mes, para poder repercutir las pérdidas en el cálculo medio mensual.

❖ Rama pérdidas inferior

➤ R_{ais} :

Como ya se ha visto, la resistencia térmica de conducción en el aislante depende del tipo de aislante y de su espesor. Dado que no cambian estos valores a lo largo del año, el valor para cada mes es el mismo, y coincide con el anual:

$$R_{ais} = \frac{e_{aislante}}{k_{ais} \cdot A} = 0,23 K / W \quad \text{Ecuación 15}$$

➤ R_{caja} :

Dado que la conductividad del aluminio no cambia apreciablemente con la temperatura, cada mes tendrá la misma resistencia térmica. Al igual que la resistencia del aislante, también coincidirá con la media anual:

$$R_{caja} = \frac{e_{caja}}{k_{al} \cdot A} = 7,2 \cdot 10^{-7} K / W \quad \text{Ecuación 16}$$

➤ $R_{convcaja}$:

Para obtener esta resistencia, se hace uso para el cálculo del Reynolds del valor de la velocidad del viento, que cambian en cada mes. Dado que la densidad y μ del aire las hemos tomado iguales para todo el año porque su cambio con modificaciones tan pequeñas de temperatura es inapreciable, el valor que más nos influye es el viento.

$$Re = \frac{\rho_{aire} \cdot V_{viento} \cdot L}{\mu_{aire}} \quad Re = \frac{\rho_{aire} \cdot V_{viento} \cdot L}{\mu_{aire}} = 582.011 \quad \text{Ecuación 17}$$

Si observamos los valores de viento para cada mes según la Tabla 17, obtenemos un Re para cada mes.

Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
6.2×10^5	6.3×10^5	6.6×10^5	6.3×10^5	5.9×10^5	5.6×10^5	5.5×10^5	5.3×10^5	5.4×10^5	5.5×10^5	6×10^5	6.5×10^5

IV. Predimensionamiento de la instalación



Tabla 24: Re sobre los colectores en cada mes

De la misma manera que en el cálculo anual, tenemos el número Nusselt, para ello se usa la siguiente correlación según M.C. Rodríguez (21):

$$Nu_{inf} = 8,948 \cdot Re^{0,385} \cdot Pr^{\frac{1}{3}} \quad Nu_{inf} = 8,948 \cdot Re^{0,385} \cdot Pr^{\frac{1}{3}} = 1.318,7 \quad \text{Ecuación 18}$$

Y con este número, obtenemos $R_{convcaja}$ como:

$$R_{convcaja} = \frac{1}{h_L \cdot A} = \frac{1}{\frac{Nu \cdot k_{aire}}{L} \cdot A} \quad R_{convcaja} = \frac{1}{h_L \cdot A} = \frac{1}{\frac{Nu \cdot k_{aire}}{L} \cdot A} = 0,01323 \text{ K / W}$$

Ecuación 19

Valores que se muestran en la Tabla 25

Una vez obtenidas las resistencias necesarias, para la rama inferior y como son resistencias en serie:

$$R_{eqinf} = R_{ais} + R_{caja} + R_{convcaja}$$

Para hallar el calor perdido por la cara inferior en cada mes, ha de obtenerse la temperatura de placa mensualmente también. Para hallar la temperatura de la caja, se usa la correlación:

$$T_{caja} = 1,021 \cdot T_{amb} - 1,762 \text{ K} \quad \text{Ecuación 46}$$

Por tanto, el calor perdido por la rama inferior será:

$$Q_{pinf} = \frac{T_{caja} - T_{amb}}{R_{convinf}} \quad \text{Ecuación 47}$$

En la Tabla 25 podemos ver el resumen por mes de los valores calculados en este apartado

	R_{ais}	R_{caja}	$R_{conv} \text{ K/W}$	$T_{caja} \text{ K}$	$Q_{pinf} \text{ W}$
Enero	0,23	7.2×10^{-7}	0.0129	289.18	328.27
Febrero	0,23	7.2×10^{-7}	0.0128	289.65	330.51
Marzo	0,23	7.2×10^{-7}	0.0125	291.96	341.20
Abril	0,23	7.2×10^{-7}	0.0128	294.04	337.56
Mayo	0,23	7.2×10^{-7}	0.0131	297.09	333.70
Junio	0,23	7.2×10^{-7}	0.0134	301.56	334.74
Julio	0,23	7.2×10^{-7}	0.0135	303.32	335.38
Agosto	0,23	7.2×10^{-7}	0.0136	304.02	331.83
Septiembre	0,23	7.2×10^{-7}	0.0136	301.56	329.86
Noviembre	0,23	7.2×10^{-7}	0.0135	297.76	326.99

IV. Predimensionamiento de la instalación



Octubre	0,23	7.2×10^{-7}	0.0130	292.47	329.02
Diciembre	0,23	7.2×10^{-7}	0.0126	289.93	335.27

Tabla 25: Resultados mensuales rama inferior

❖ Rama útil

➤ R_{placa} : Resistencia térmica de conducción de la placa. Se mantiene fija en 0,012 W/K para cada mes.

➤ R_{tubo}

Recordando que en el apartado de cálculo anual esta resistencia se calculaba:

$$R_{tubo} = \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2 \cdot \pi \cdot K_{cu} \cdot L_{tubo}} \quad \text{Ecuación 20}$$

Y al no cambiar las características técnicas a lo largo del año, ni la conductividad del cobre (aunque depende de la temperatura, esta varía tan poco que no es apreciable el efecto en la conductividad) será la misma para cada mes:

$$\underline{R_{tubo} = 24,67 \cdot 10^{-6} \text{ K/W}}$$

➤ R_{int}

Para hallar esta resistencia de convección interior en una tubería en cada mes, se utiliza de nuevo la siguiente fórmula:

$$R_{int} = \frac{1}{h_{ci} \cdot L_c \cdot 2 \cdot \pi \cdot r_{int}} \quad \text{Ecuación 21}$$

Donde el radio interior y la longitud del tubo siguen siendo los mismos que en la media anual y h se calcula igualmente mediante la ecuación:

$$h_{ci} = \frac{Nu \cdot k_{glicol}}{d_{int}} \quad \text{Ecuación 22}$$

La conductividad del glicol varía para cada mes y el número de Nusselt se calcula mediante la ecuación de Dittus-Boelter, tal como anualmente:

$$Nu_D = 0,023 \cdot Re_D^{4/5} \cdot Pr^{0,4} \quad \text{Ecuación 23}$$

Y donde Reynolds es:

$$Re_D = \frac{4 \cdot m}{\pi \cdot D_{int} \cdot \mu} \quad \text{Ecuación 24}$$



El diámetro se mantiene constante a lo largo de todo el año, μ del glicol no varía de manera significativa siendo $2,5 \cdot 10^{-3} \text{ N}\cdot\text{s/m}^2$ y el Prandtl del glicol será distinto en cada mes, puesto que tanto C_g como la conductividad cambian, aunque en pequeña cantidad:

$$Pr_{glicol} = \frac{c_g \cdot \mu_g}{k_g} \quad Pr_{glicol} = \frac{c_g \cdot \mu_g}{k_g} = 16,95 \quad \text{Ecuación 25}$$

Dado que el gasto másico depende del caudal y de la densidad, y esta cambia a lo largo del año, aunque sea en pequeños valores, la hemos tenido en cuenta.

Se resuelve y vemos que Re_d varía entre 105 y 189, encontrándonos por tanto en régimen laminar al ser siempre $Re_d < 2300$ y por tanto pudiendo aplicar la ecuación de Dittus-Boelter mostrada anteriormente para todos los meses

Se resuelve Nusselt siendo el valor entre 4,71 y 4,86, y con este h para cada mes

Ahora que disponemos de todos los datos, podremos calcular R_{int} . Se muestra en la Tabla 26

	$R_{Placa} \text{ K/W}$	$R_{tubo} \text{ K/W}$	$R_{cig} \text{ (K/W)}$
Enero	0.012	24.67×10^{-6}	0.0608
Febrero	0.012	24.67×10^{-6}	0.0603
Marzo	0.012	24.67×10^{-6}	0.0595
Abril	0.012	24.67×10^{-6}	0.0592
Mayo	0.012	24.67×10^{-6}	0.0589
Junio	0.012	24.67×10^{-6}	0.0587
Julio	0.012	24.67×10^{-6}	0.0585
Agosto	0.012	24.67×10^{-6}	0.0586
Septiembre	0.012	24.67×10^{-6}	0.0590
Noviembre	0.012	24.67×10^{-6}	0.0595
Octubre	0.012	24.67×10^{-6}	0.0603
Diciembre	0.012	24.67×10^{-6}	0.0610

Tabla 26: Resultados mensuales rama útil

❖ Rama perdidas superior

Para hallar las perdidas en la cara superior, empezamos calculando T_{cielo} . Como sigue:

$$T_{cielo} = 0,0552 \cdot (T_{amb})^{1,5} \quad \text{Ecuación 27}$$

Dado que la temperatura ambiente es distinta en cada mes, también lo será T_{cielo} . El resultado se muestra en la Tabla 27

IV. Predimensionamiento de la instalación



Para calcular Q_{psup} , el procedimiento es igual que anteriormente:

$$Q_{psup} = \frac{T_{placa} - T_{cristal}}{R_{eqsup1}} \quad \text{Ecuación 41}$$

Donde:

$$R_{eqsup1} = \frac{R_{radint} \cdot R_{convint}}{R_{radint} + R_{convint}} + R_{cristal} \quad \text{Ecuación 38}$$

O también se puede obtener con la suma del calor que fluye por las dos ramas exteriores

$$\frac{T_{cristal} - T_0}{R_{convext}} + \frac{T_{cristal} - T_{cielo}}{R_{radext}} \quad \text{Ecuación 42}$$

Y como ahora las resistencias cambian mes a mes, así como las temperaturas de ambiente y cristal, recalculamos las resistencias en media mensual

➤ $R_{cristal}$:

$$R_{cristal} = \frac{e_{cristal}}{k_{cristal} \cdot A_{cristal}} \quad \text{Ecuación 28}$$

Como se ve, ninguno de estos parámetros cambia en función del mes, luego el resultado no varía respecto a la media anual:

$$R_{cristal} = 1,56 \cdot 10^{-3} \text{ K/W}$$

➤ R_{radext} :

Según la fórmula usada con anterioridad:

$$R_{radext} = \frac{1}{\varepsilon_{ircristal} \cdot \sigma \cdot A_t \cdot \left[(T_{cristal})^2 + (T_{cielo})^2 \right] \cdot (T_{cristal} + T_{cielo})} \quad \text{Ecuación 29}$$

Depende de valores que cambian mensualmente, las temperaturas de cielo, cristal y placa. Dado que ya las hemos calculado para cada mes, tendremos que:

R_{radext}	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio
K/W	0.3363	0.3343	0.3247	0.3163	0.3045	0.2882	0.2820

Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
0.2797	0.2882	0.3020	0.3226	0.3331



Se comprueba que en los meses de más calor, donde la diferencia entre las temperaturas de placa y cristal (y también entre cristal y cielo) son mayores, la resistencia es menor. Por ello, la pérdida de calor al ambiente por radiación es mayor en verano que en invierno.

➤ $R_{convext}$:

Al depender esta resistencia de la convección natural creada en la cara exterior del cristal al incidir sobre ella una corriente de aire (el viento) que cambia mensualmente, esta también cambiara en cada mes

La resistencia por convección exterior se calcula:

$$R_{convext} = \frac{1}{h_{convext} \cdot A_{cristal}} = \frac{1}{\frac{Nu \cdot k_{aire}}{L_{cristal}} \cdot A_{cristal}} \quad \text{Ecuación 30}$$

Dado que nos encontramos en flujo paralelo durante todo el año como ya se vio en el cálculo anual, el Nusselt viene dado:

$$Nu = 0.105 \cdot Re_{pf}^{0.646} \cdot Pr^{\frac{1}{3}} \quad Nu = 0.105 \cdot Re_{pf}^{0.646} \cdot Pr^{\frac{1}{3}} = 494,6 \quad \text{Ecuación 31}$$

Siendo la $k_{aire} = 0,026 \text{ W/m}\cdot\text{K}$, Prandtl calculado en 0,703 y Re en una superficie plana se obtiene de:

$$Re = \frac{\rho_{aire} \cdot V_{viento} \cdot L}{\mu_{aire}} \quad Re = \frac{\rho_{aire} \cdot V_{viento} \cdot L}{\mu_{aire}} = 582.011 \quad \text{Ecuación 32}$$

Dado que en nuestro caso tenemos una batería de 3 colectores seguidos uno de otro, la Longitud característica será 3 veces el ancho del colector, la cual es de 1m. Por tanto L es 3m.

En la

Tabla 24 se muestra el Reynolds y

Tabla 27 $R_{convext}$ en la

Tabla 27

➤ R_{radint} :

La resistencia por radiación en el interior del panel, es decir, en el espacio que queda entre la placa y el cristal se calcula mediante la ecuación:

$$R_{radint} = \frac{(\epsilon_{ircristal} + \epsilon_{irplaca} - \epsilon_{ircristal} \cdot \epsilon_{irplaca})}{\epsilon_{ircristal} \cdot \epsilon_{irplaca} \cdot \sigma \cdot A_t \cdot [(T_{placa})^2 + (T_{intcristal})^2] \cdot (T_{placa} + T_{intcristal})} \quad \text{Ecuación 33}$$



Los valores que cambian en cada mes son las temperaturas. El resto permanece constante a lo largo del año, siendo los mismos valores que en el cálculo anual.

$$T_{\text{int cristal}} = \left(\frac{T_{\text{cristal}} - T_{\text{cielo}}}{R_{\text{radext}}} + \frac{T_{\text{cristal}} - T_0}{R_{\text{convext}}} \right) \cdot R_{\text{cristal}} + T_{\text{cristal}} = 302,18 \text{ K} \quad \text{Ecuación 34}$$

Tanto $T_{\text{intercristal}}$ como R_{radint} se muestran en la

Tabla 27

➤ R_{convint} :

Al igual que ya se hizo anteriormente, se calcula:

$$R_{\text{conv int}} = \frac{1}{h_{\text{con int}} \cdot A} = \frac{1}{\frac{Nu_i \cdot k_{\text{aire}}}{L_{\text{interior}}} \cdot A} \quad \text{Ecuación 35}$$

Siendo el número de Nusselt en el interior:

$$Nu = 4,328 \cdot 10^{-10} \cdot Ra^2 - 1,478 \cdot 10^{-6} \cdot Ra + 1,001 \quad \text{Ecuación 36}$$

Y obteniendo Raleigh:

$$Ra = \frac{g \cdot \beta_t \cdot (T_{\text{placa}} - T_{\text{cristal}}) \cdot L_{\text{ci}}^3}{\alpha_a \cdot \nu_{\text{aire}}} \quad Ra = \frac{g \cdot \beta_t \cdot (T_{\text{placa}} - T_{\text{cristal}}) \cdot L_{\text{ci}}^3}{\alpha_a \cdot \nu_{\text{aire}}} = 87,2 \quad \text{Ecuación 37}$$

Como se comprueba, los valores que cambian en cada mes son las temperaturas de placa y cristal. Por lo tanto, esto proporciona 12 valores de Raleigh, consecuentemente 12 valores distintos de Nusselt y por tanto de R_{convint}

Resumiendo los resultados obtenidos, tenemos para la rama superior:

	R_{radint} K/W	$R_{\text{conv int}}$ K/W	R_{convext} K/W	R_{radext} K/W	R_{cristal} (K/W)	R_{egsup} K/W	$T_{\text{int cristal}}$	T_{cielo}
Enero	0.5519	0.2905	0.0336	0.3363	0.0156	0.192	295.17	265.53
Febrero	0.5482	0.2905	0.0334	0.3343	0.0156	0.191	295.65	266.17
Marzo	0.5305	0.2905	0.0323	0.3247	0.0156	0.189	298.03	269.34
Abril	0.5228	0.2905	0.0334	0.3163	0.0156	0.188	300.14	272.21
Mayo	0.5110	0.2905	0.0349	0.3045	0.0156	0.187	303.24	276.44
Junio	0.4907	0.2905	0.0359	0.2882	0.0156	0.184	307.79	282.65
Julio	0.4829	0.2905	0.0363	0.2820	0.0156	0.183	309.59	285.12
Agosto	0.4818	0.2905	0.0371	0.2797	0.0156	0.183	310.29	286.10
Septiembre	0.4933	0.2905	0.0368	0.2882	0.0156	0.184	307.78	282.65
Noviembre	0.5117	0.2905	0.0363	0.3020	0.0156	0.187	303.91	277.36
Octubre	0.5353	0.2905	0.0344	0.3226	0.0156	0.190	298.52	270.04
Diciembre	0.5439	0.2905	0.0327	0.3331	0.0156	0.191	295.95	266.55

Tabla 27: Resultados mensuales rama superior

IV. Predimensionamiento de la instalación



- Calculo de las pérdidas de calor en la rama superior

$$Q_{p\sup} = \frac{T_{placa} - T_{cristal}}{R_{eq\sup 1}} \quad \text{Ecuación 41}$$

$$\frac{T_{cristal} - T_0}{R_{convext}} + \frac{T_{cristal} - T_{cielo}}{R_{radext}} \quad \text{Ecuación 42}$$

- Calculo de las pérdidas de calor en la rama inferior

$$Q_{p\inf} = \frac{T_{placa} - T_0}{R_{eq\inf}} \quad Q_{p\inf} = \frac{T_{placa} - T_0}{R_{eq\inf}} = 329.88W \quad \text{Ecuación 39}$$

- Calculo de las pérdidas de calor en la rama útil

$$Q_{util} = \frac{T_{placa} - T_g}{R_{equil}} \quad Q_{util} = \frac{T_{placa} - T_g}{R_{equil}} = 507.89W \quad \text{Ecuación 40}$$

	Q _{psup1}	Q _{prad}	Q _{pconv}	Q _{psup2}	Q _{pinf}	Q _{util}
nero	366.96	86.41	286.15	372.56	328.27	769.71
Febrero	370.47	86.44	288.91	375.35	330.51	674.15
Marzo	387.50	86.49	302.05	388.54	341.20	577.90
Abril	384.82	86.43	294.32	380.76	337.56	518.30
Mayo	382.87	86.14	285.39	371.53	333.70	467.22
Junio	389.35	85.25	282.19	367.44	334.74	483.81
Julio	392.29	84.73	281.29	366.01	335.38	435.37
Agosto	388.06	84.50	275.62	360.12	331.83	466.61
Septiembre	382.49	85.25	275.32	360.57	329.86	552.47
Noviembre	374.31	86.04	275.15	361.19	326.99	619.39
Octubre	371.43	86.49	283.63	370.12	329.02	718.86
Diciembre	377.21	86.45	295.62	382.07	335.27	825.29

Tabla 28: Pérdidas de calor mensuales



Para tener en cuenta estas pérdidas que hemos calculado por la cara delantera y por la cara posterior en cada mes, hay que modificar el sistema de ecuaciones en media mensual de tal manera que el balance de energía en los paneles queda al añadir estas pérdidas como sigue:

$$I_T \cdot A \cdot \eta_o - Q_{p\sup} - Q_{p\inf} = \dot{m}_1 \cdot Cp_1 \cdot (T_{co} - T_{ci}) \text{ Ecuación 48}$$

El resto de ecuaciones queda invariable. Dado que ya hemos fijado en 3 el número de colectores, se resuelve el sistema tomando f como incógnita y el área fija. Hay que resolver el sistema 12 veces, una por cada mes, siendo los valores de partida los correspondientes a cada mes. Se muestra el resultado en la

Tabla 29 y gráficamente en

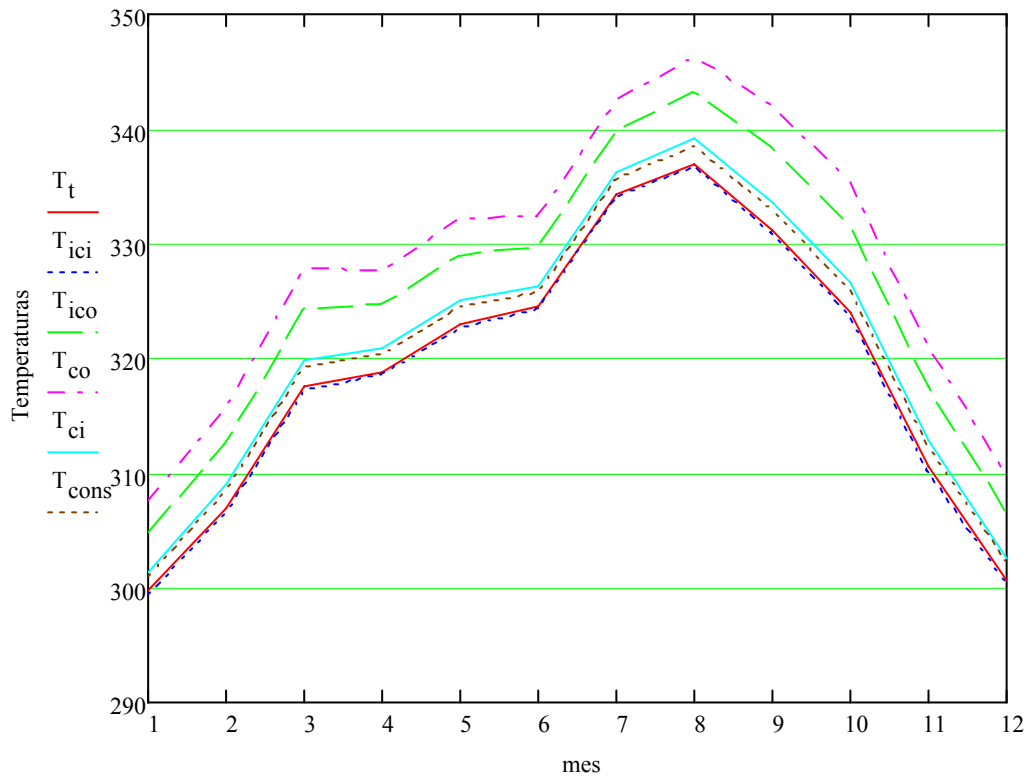


Ilustración 7 e Ilustración 8.

	T _{ci} (K)	T _{ico} (K)	T _{co} (K)	T _{ci} (K)	T _{tanque} (K)	T _{cons} (K)	F
Enero	299.38	304.79	307.56	301.42	299.72	300.99	0.38
Febrero	306.65	312.76	315.83	308.94	306.98	308.43	0.52
Marzo	317.24	324.36	327.88	319.90	317.59	319.28	0.72
Abril	317.29	323.39	326.40	319.56	317.56	319.01	0.73
Mayo	322.32	328.68	331.79	324.69	322.59	324.11	0.81
Junio	324.33	329.73	332.37	326.34	324.52	325.82	0.84
Julio	334.21	339.80	342.50	336.29	334.38	335.73	1.06
Agosto	343.21	349.66	352.76	345.60	343.39	344.95	1.12

IV. Predimensionamiento de la instalación



Septiembre	330.87	338.38	342.03	333.66	331.16	332.97	1.00
Noviembre	323.69	331.50	335.32	326.60	324.06	325.92	0.85
Octubre	310.07	317.42	321.08	312.82	310.52	312.24	0.57
Diciembre	300.24	306.54	309.75	302.62	300.68	302.14	0.40

Tabla 29: Resultados del sistema de ecuaciones para media mensual teniendo en cuenta las pérdidas por viento.

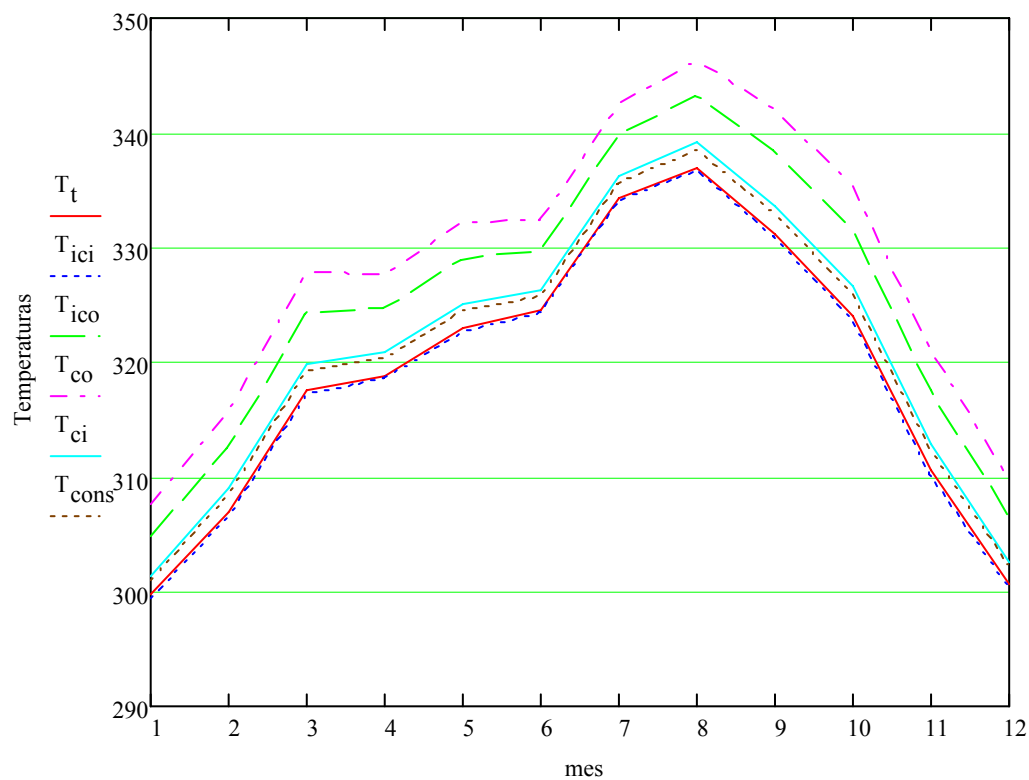


Ilustración 7: Temperaturas medias mensuales en distintos puntos de la instalación

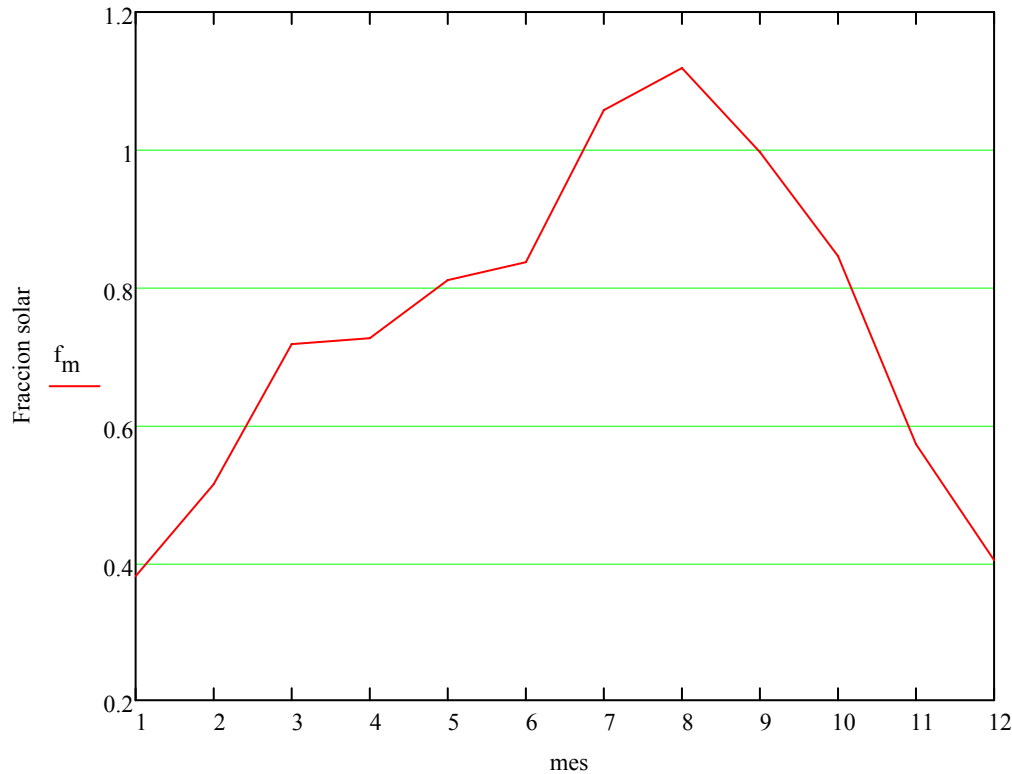


Ilustración 8: Fracción solar media mensual

Como se puede observar, debido a que ahora tenemos en cuenta las pérdidas por viento, se ha reducido el factor en cada mes respecto al cálculo en media mensual sin pérdidas. Para comprobar que en el total anual el factor es mayor de 0,7 no se puede realizar una media aritmética de los factores medios mensuales, sino que hay que comprobar el total de energía aportada en el año sumando la de cada mes, y compararlo con el total de energía requerida en el año sumando la de cada mes.

Para ello, y usando los resultados obtenidos, realizamos el cálculo mes a mes del calor aportado por energía solar y del calor que se requiere en la instalación, dado que tenemos el consumo, las temperaturas en cada mes, y el tiempo de uso, de la siguiente manera:

$$Q_{solar} = \dot{m}_{cons} \cdot Cp \cdot (T_{cons} - T_{red}) \cdot H_{sol} \cdot N_{días} \quad \text{Ecuación 49}$$

$$Q_{ACS} = \dot{m}_{cons} \cdot Cp \cdot (T_{sum} - T_{red}) \cdot H_{sol} \cdot N_{días} \quad \text{Ecuación 50}$$

Y sumando los 12 meses, tenemos que:

$$\sum Q_{solar} = 28.92 \times 10^9 \cdot J$$

$$\sum Q_{ACS} = 40.06 \times 10^9 \cdot J$$

IV. Predimensionamiento de la instalación



$$f_{\text{total}} := \frac{\sum Q_{\text{solar}}}{\sum Q_{\text{Acs}}} = 0.722 \quad \text{Ecuación 51}$$

Realizando el cálculo en media mensual fijando 3 paneles, estamos por encima del valor de 0,7 que tenemos que cumplir según normativa. Se observa que hay algunos meses en los que el valor de f es mayor que 1 (en concreto los meses de julio y Agosto), superando incluso en un mes (Agosto) el valor de 1,1 encontrándonos por tanto con la necesidad de colocar un sistema de disipación de calor para asegurar que se cumple la normativa del CTE en el apartado 2.1.3 y 2.1.4, Contribución solar mínima del “Documento Básico HE ahorro de Energía”, en el que expone que no se ha de sobrepasar el valor de 110% en ningún mes ni el 100% en más de 3 meses, y cuando esto ocurra se exige tomar medidas.

De las opciones que nos ofrece el punto 2.1.4, para facilitar el mantenimiento se desecha el tapado parcial, al no disponer de piscina donde verter ese exceso, y al ser más caro y difícil de mantener los paneles con sistema de vaciado parcial, se opta por la primera opción para disipar el calor sobrante instalando un aerotermo.



V. DIMENSIONADO DE LA INSTALACION



I. DIMENSIONADO DEL DEPOSITO DE ACUMULACION SOLAR

En el CTE se especifica que el volumen del depósito de acumulación solar tiene que estar comprendido entre los siguientes valores:

$$50 \leq \frac{V}{A} \leq 180 \text{ Ecuación 52}$$

Donde A es el área de captación y V el volumen de acumulación.

Dado que tenemos un total de 3 colectores solares, con un área unitaria de 2,205 m² lo cual suma 6,615 m², esto nos deja un margen para el volumen de acumulación de entre 330 y 1190 litros. Escogeremos un valor intermedio, siendo elegido el depósito de 750l DAB750PW08RFP con aislamiento de la marca SUICALSA. Se muestran los datos técnicos en el anexo.

II. DIMENSIONAMIENTO DEL INTERCAMBIADOR

Para que los datos obtenidos en el dimensionado de la instalación sean validos, se tienen que mantener las premisas e hipótesis de partida, entre ellas estaba la de la eficiencia del intercambiador de calor. Si esta hipótesis no fuera la misma, no podremos asociar la correlación entre los resultados obtenidos teóricamente y la realidad. Es por ello que tenemos que diseñar en este punto un intercambiador de calor en el cual se cumplan las especificaciones dadas.

Por lo tanto tenemos que seleccionar un intercambiador que cumpla las temperaturas de entrada y salida, la eficiencia en el intercambio, y que sea capaz de realizar su trabajo para el caudal necesario a intercambiar (así como dar la potencia requerida)

El CTE en el apartado 3.3.4 del “Documento Básico HE Ahorro de Energía” se establece que la potencia mínima del intercambiador de calor debe cumplir la siguiente relación:

$$Q_{\min} \geq 500 \times A \text{ Ecuación 53}$$

Siendo:

Q_{\min} = Potencia mínima del intercambiador de calor (W)
A = Área de los captadores (m²)

Por tanto la potencia mínima requerida en nuestro intercambiador para una instalación de 3 colectores solares será:

$$Q_{\min} = 500 \cdot 2,205 \cdot 3 = 3.307W$$

Para ello, necesitamos un área de intercambio A, tal que $A = N \cdot a$, siendo N el número de placas y a el área útil de cada placa. (Valor dado por el fabricante). Necesitamos pues saber el número de placas necesarias para dimensionar el intercambiador, así como el modelo para saber el área de intercambio.

V. Dimensionado de la instalación



Podemos obtener el A mediante la fórmula $Q_{min} = U \cdot A \cdot \Delta T_{LC}$. Para ello, obtenemos ΔT sabiendo las temperaturas de trabajo (Tabla 29), y necesitamos saber U.

$$U \rightarrow \frac{1}{U} = \frac{1}{h_1} + \frac{1}{h_2} + \frac{e}{K_{Al}} \quad \text{Ecuación 54}$$

Donde e es el espesor de la placa del intercambiador (0.5mm) y K_{Al} la conductividad del material del intercambiador (realizados para estas aplicaciones de acero inoxidable, debido a su resistencia a la corrosión)

Para hallar h_1 y h_2 , obtendremos el Nusselt, en función de la velocidad de paso del líquido por los canales del intercambiador, así como los parámetros (densidad, viscosidad, etc) del glicol en el lado caliente y del agua en el lado frío.

Debido a las variaciones mensuales, escogeremos el mes más desfavorable en cuanto a potencia mayor necesaria en el intercambiador. Dado que el mes con mayor cobertura solar y mayores temperaturas es Julio, realizaremos los cálculos con los datos de temperaturas de ese mes.

Realizamos el cálculo en Mathcad, debido a que hay que iterar hasta encontrar la combinación adecuada.

En primer lugar, tenemos que saber el gasto másico en cada canal:

$$m_{canal1} := \frac{m1}{\left(\frac{N_{p1} - 1}{2}\right)} \quad m_{canal2} := \frac{m2}{\left(\frac{N_{p2} - 1}{2}\right)} \quad \text{Ecuación 55}$$

Siendo N_p el numero de placas (en el primario N_{p1} y en el secundario N_{p2})

Para saber la sección del canal, necesitaremos la anchura del intercambiador (w) y la distancia entre placas o ancho del canal (b). Estos datos los obtenemos de las características técnicas del intercambiador, según hoja del fabricante (ver anexo).

Se ha escogido el fabricante Suicalsa, modelo IPT0601 de placas electrosoldadas.

Por tanto w es 80 mm y b 1.5 mm, siendo H o altura de la placa 194 mm. Esto conduce a una sección del canal de $12 \times 10^{-5} \text{ m}^2$

Para calcular Reynolds es necesaria la velocidad en la canal, calculada como sigue:

$$V_{canal1} := \frac{m_{canal1}}{\rho_{glicol} A_{canal}} \quad \text{Ecuación 56}$$

Dado que es necesario saber el número de placas, se hace un cálculo con una estimación y se itera hasta que demos con el número de placas necesario. Una vez realizadas las iteraciones, hemos comprobado que el que mejor se adapta a nuestras necesidades es un intercambiador de 24 placas (12 en el lado frío y 12 en el lado caliente). Por tanto:

$$V_{canal1} = 0.1389 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad V_{canal2} = 0.1389 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

V. Dimensionado de la instalación



La longitud característica:

$$l_c = 4 \cdot \frac{S_c}{P} = \frac{4 \cdot b \cdot w}{2(b + w)} = 0,003 \text{ m} \quad \text{Ecuación 57}$$

Calculamos Reynolds en cada lado y obtenemos:

Reynolds lado glicol: 161.35
Reynolds lado agua: 625.52

A pesar de que las velocidades y que el área de canal es igual en los dos lados, influye el hecho de que el glicol tenga distinta densidad y sobre todo viscosidad, de tal manera que el Reynolds es bastante menor en el lado glicol.

Obtenemos el número Prandtl, de tal manera que:

$$\text{Pr} = \frac{\mu \cdot c}{k} \quad \text{Ecuación 58}$$

Prandtl lado glicol: 18.18
Prandtl lado agua: 4.10

En el diseño de intercambiadores de calor un aspecto de gran importancia es el relacionado con el cálculo del coeficiente de transmisión de calor. Por lo general, esta información está disponible en forma de correlaciones empíricas o semiempíricas, y la información disponible en literatura abierta es escasa debido a que tanto métodos de diseño como propiedades termohidráulicas son de propiedad intelectual.

No obstante, se pueden encontrar algunas correlaciones. Según el estudio “Diseño de intercambiadores de calor de plato marco en arreglo simple y multipaso” (23), las siguientes correlaciones fueron reportadas por Shah y Focke (1988) para la placa tipo Chevron P31 de la compañía Alfa Laval:

$$\begin{array}{ll} \text{Nu:} & 0.729 \text{ Re}^{1/3} \text{ Pr}^{1/3} \quad \text{Para } \text{Re} \leq 7 \\ & 0.380 \text{ Re}^{2/3} \text{ Pr}^{1/3} \quad \text{Para } \text{Re} > 7 \end{array}$$

Las características geométricas de esta placa son:

- Área de transferencia por placa: 0,30 m²
- Longitud efectiva: 0,904
- Espaciamento entre placas: 2.9 mm
- Diámetro hidráulico 5.8 mm
- Angulo Chevron: 60°

A pesar de ser la placa de Suicalsa de menor tamaño que la de Alfa Laval, y el diámetro hidráulico y la separación entre placas es la mitad, usaremos dicha correlación puesto que el diseño de ambas placas es en tipo chevron y el ángulo es compartido por los fabricantes.

V. Dimensionado de la instalación



Dado que estamos en el caso de $Re > 7$, el número de Nusselt se calcula:

$$Nu = 0.380 \cdot Re^{0.66} \cdot Pr^{0.33} \quad \text{Ecuación 59}$$

Nusselt lado glicol: 28.35

Nusselt lado agua: 42.42

Y una vez hallado Nusselt podemos obtener h :

$$h_1 := \frac{Nu_{c1} \cdot k_{\text{glicol}}}{l_c} \quad \text{Ecuación 60}$$

h_1 lado glicol: 5006.29 W/m²K

h_2 lado agua: 9537.19 W/m²K

Y calculamos U :

$$U := \frac{1}{\left(\frac{1}{h_1} + \frac{1}{h_2} + \frac{es}{K_{ai}} \right)} \quad \text{Ecuación 61} \quad U = 2959.151 \frac{W}{m^2 K}$$

El área de intercambio depende del número de placas, siendo:

$$A_{ic} := (N_{p1} + N_{p2} - 2) \cdot A_{\text{placa}} \quad A_{ic} = 0.34 m^2 \quad \text{Ecuación 62}$$

Para un total de placas de 24 (12 de lado caliente y 12 de lado frío)

Solo nos queda obtener el incremento de temperatura, según se muestra:

$$\Delta T_{ic} := \frac{(T_{co} - T_{ico}) - (T_{ci} - T_{ici})}{\ln \left[\frac{(T_{co} - T_{ico})}{T_{ci} - T_{ici}} \right]} \quad \text{Ecuación 63} \quad \Delta T_{ic} = 2.99 \cdot K$$

De tal modo que la potencia intercambiada es:

$$Q_{ic} := U \cdot A_{ic} \cdot \Delta T_{ic} = 3019.65 W \quad \text{Ecuación 64}$$

Para comparar con la potencia necesaria para calentar el agua según las temperaturas obtenidas de la Tabla 29, obtenemos:

$$Q_2 := m_2 \cdot c_{\text{agua}} \cdot (T_{ico} - T_{ici}) \quad Q_2 = 2444.54 W \quad \text{Ecuación 65}$$

En resumen, el calor que se intercambia es de 3.019,6 W, que es mayor que los 2.444,54 W necesarios para aumentar la temperatura del agua del depósito hasta la temperatura

V. Dimensionado de la instalación



requerida (lado frío). No obstante no cumple la norma del CTE siendo menor que los 3307 W calculados anteriormente.

Para cumplir la norma, se recalcula con 30 placas, siguiendo el mismo procedimiento. Obtenemos una potencia de 3325,95W.

Así pues, queda seleccionado el modelo IPT-0601-30-30 de 30 placas del fabricante Suicalsa según la siguiente hoja de características mostrada en el anexo.

III.DIMENSIONADO DE LA CALDERA Y DEPOSITO AUXILIAR

El siguiente paso es obtener la potencia de la caldera y el tamaño del depósito de acumulación que nos va a ser necesario para cumplir las necesidades del sistema (en este caso dar ACS a las 10 viviendas).

Debido a la filosofía del proyecto, para calcular la caldera tendremos en cuenta que solo tendrá que aportar energía al sistema de ACS obviando la calefacción pues no tenemos datos para ello, siendo el diseño de sus necesidades igual que si no estuviera el sistema solar (pues la energía solar no está garantizada los días nublados o de lluvia, con lo cual esos días la caldera tiene que aportar el 100% de la energía)

Para calcular la potencia de la caldera y el tamaño del depósito, nos basamos en el documento DTIE 1.01, en el cual se especifica los pasos a seguir.

Para poder absorber los picos de demanda, tendremos que tener un depósito en el cual se almacena el calor, de tal manera que en el momento del uso esté disponible, y mientras no hay uso se está almacenando de continuo. Este sistema se denomina de acumulación, frente a otros de producción instantánea o semi-instantaneo, y tiene la ventaja que la caldera se diseñara con menor potencia que en un sistema instantáneo. (El tiempo de preparación será de al menos una hora)

El primer paso, una vez sabido el consumo máximo diario (obtenido anteriormente a través del CTE, el cual resulto ser de 550 l/día para el total del edificio) es obtener el periodo de punta.

Según el DTIE 1.01, el $Q_{\max}=0,75 Q_d$, es decir, el máximo consumo de un edificio suele estar concentrado en una franja del de tal manera que supone alrededor del 75% del consumo diario. Es por ello que dimensionando para este caudal máximo, estaremos cubriendo también el resto del día (pues el caudal el resto del día es menor)

Podemos saber el periodo de punta para un determinado edificio de N viviendas, por métodos estadísticos, según la siguiente formula (del DTIE 1.01)

$$T = 5 * \frac{N^{0.906}}{15 + N^{0.920}} \quad \text{Ecuación 66}$$

Dado que tenemos 10 viviendas, $T = 1,723 \text{ Horas} = 6202 \text{ s}$

También es necesario saber el coeficiente de simultaneidad (pues no todas las viviendas pueden tener el máximo consumo a la misma hora) coeficiente que depende del número de viviendas, según la siguiente ecuación:

$$\varphi = \frac{1}{\sqrt{N-1}} + ,17 \quad \text{Ecuación 67}$$

V. Dimensionado de la instalación



Que para $N=10$, nos ofrece el resultado $\varphi=0,503$.

Y con estos datos, y el caudal diario:

$$C_{max} = \frac{Q_p \cdot N \cdot \varphi}{3600} = \frac{0,75 \cdot 10 \cdot 0,503}{3600} = 0,0576 \text{ l/s o } 207,48 \text{ L/h} \quad \text{Ecuación 68}$$

Que es el caudal máximo horario medio en la hora de máximo consumo

Para hallar el volumen de acumulación, es necesario tener en cuenta varias cosas:

- En primer lugar, el factor de forma del depósito que nos da el factor de mezcla. Esto es, la relación entre la altura H y el diámetro D . Es habitual en los fabricantes de depósitos que el diámetro sea $2/3$ de H . así pues, nuestro $f_f = 1,66$. Con este valor, y la formula del apartado 5,3 del DTIE 1.01 ($f_m = 0,63 + 0,14 f_f$) tenemos que $f_m = 0,863$.

- el volumen útil se calcula con la fórmula del apartado 5,8 del DTIE.

$$V_u = \frac{C_{max}}{\frac{1}{T} + \frac{1}{t_p \cdot f_m}} \quad \text{Ecuación 69}$$

Donde t_p es el tiempo de preparación.

Para t_p 1 hora, $V_u = 119,22 \text{ l}$

Para t_p 2 hora, $V_u = 191,91 \text{ l}$

Esto es el volumen útil del depósito. Pero al tener en cuenta la estratificación (mediante el factor de forma), este volumen útil es menor que el real necesario.

Es por ello que el volumen real (el depósito que se instalará) tendrá que ser tal que cumpla:

$$V = \frac{V_u}{f_m} = 138,14 \text{ l (para } t_p \text{ 1 hora) o bien } 222,371 \text{ l (para } t_p \text{ 2 horas)}$$

Escogeremos el depósito de venta comercial que este entre estos dos valores, intentado ceñirnos lo más cerca posible al valor superior para minimizar la potencia de la caldera, siempre y cuando la diferencia de coste de escoger el valor superior sea aceptable. Dado que comercialmente según la tabla del fabricante SUICALSA mostrada en el anexo la menor opción es un depósito de 200l para la serie DAB, este tamaño será el escogido.

En cuanto al dimensionado de la caldera, esta tiene que tener una potencia tal que sea capaz de, en periodos de nula aportación solar, dar la energía necesaria para calentar el caudal punta durante el periodo de caudal máximo. Mediante las ecuaciones de balance energético dadas en el DTIE (ecuación 5.6) y realizando las correcciones correspondientes teniendo en cuenta la acumulación, resolvemos que la potencia útil mínima que necesitaremos será:

$$P_u = \frac{4,19 \cdot \Delta T \cdot C_{max} \cdot T}{T + t_p} \quad \text{Ecuación 70}$$



Y con los datos de los apartados anteriores, sabiendo que la temperatura de red es 12,3°, temperatura de consumo 60°, y un tiempo de preparación de 1 hora, la potencia útil necesaria para la caldera es $P_u = 7,28 \text{ Kw}$.

Se ha escogido una caldera marca Ferroli modelo DIVATECH F24, cuyas características técnicas se muestran en anexo, de una potencia útil mínima de 7,2 KW y máxima de 24 KW. Por tanto, sería capaz de calentar el depósito de 138 l en una hora funcionando en su franja de mínima potencia. Dado que funcionará a mayor potencia para encontrarse en el rango de mejor rendimiento, será capaz de calentar el depósito de 200 l incluso en menos de una hora, asegurando por tanto que siempre habrá agua caliente acumulada suficiente para aguantar el periodo punta.

IV. DIMENSIONADO DE LA RED DE TUBERIA

Aunque el RITE no fija valores máximos para las pérdidas de carga lineales, resulta adecuado respetar el límite fijado en las IT.IC. según las cuales las tuberías se calcularán de forma que la pérdida de carga en tramos rectos sea inferior a 40 mmca/m, sin sobrepasar los 2m/s en los tramos que discurran por locales habitados.

En la práctica, es conveniente dimensionar las tuberías de modo que la pérdida de carga lineal no supere los 20 mmCA/m, habitualmente entre 10 y 15 mmCA/m; en estas condiciones, las velocidades siempre serán inferiores a 2 m/s.

Las pérdidas de carga lineales se obtienen con la expresión de DARCY-WEISBACH, que fue definida experimentalmente: $P = f \cdot (\gamma \cdot v^2 / 2 \cdot g) \cdot L / D$ siendo:

P: Pérdida de carga (kg/m²).

f: Factor de Fricción (adimensional).

ρ : Densidad del fluido (kg/m³).

g: Aceleración de la gravedad (9,81 m/s²).

L: Longitud de la tubería (m).

D: Diámetro de la tubería (m).

Habitualmente las pérdidas de carga de las tuberías se miden en metros de columna de líquido y se dan por metro de tubería:

$\Delta H = P / \gamma$ Pérdida de carga en metros de columna de líquido.

$\Delta h = H / L$ Pérdida de carga por metro de tubería.

$\Delta h = f \cdot v^2 / (2 \cdot g \cdot D)$

Como caudal (Q) = $v \cdot S = v \cdot \pi \cdot (D/2)^2 = v \cdot \pi \cdot D^2 / 4$ de donde: $v = 4 \cdot Q / (\pi \cdot D^2)$

Y sustituyendo:

$$h = 0,0826 \cdot f \cdot Q^2 / D^5 \text{ Ecuación 71}$$

h: m columna de líquido por m de tubería.

Q: m³/s.

D: m.

Las pérdidas de carga aumentan con el cuadrado del caudal y disminuyen en función de la quinta potencia del diámetro de la tubería.

Las pérdidas de carga totales se obtienen multiplicando las pérdidas lineales por los metros de tubería.

Para obtener el coeficiente de fricción en la tubería, usamos el diagrama de Moody.

V. Dimensionado de la instalación

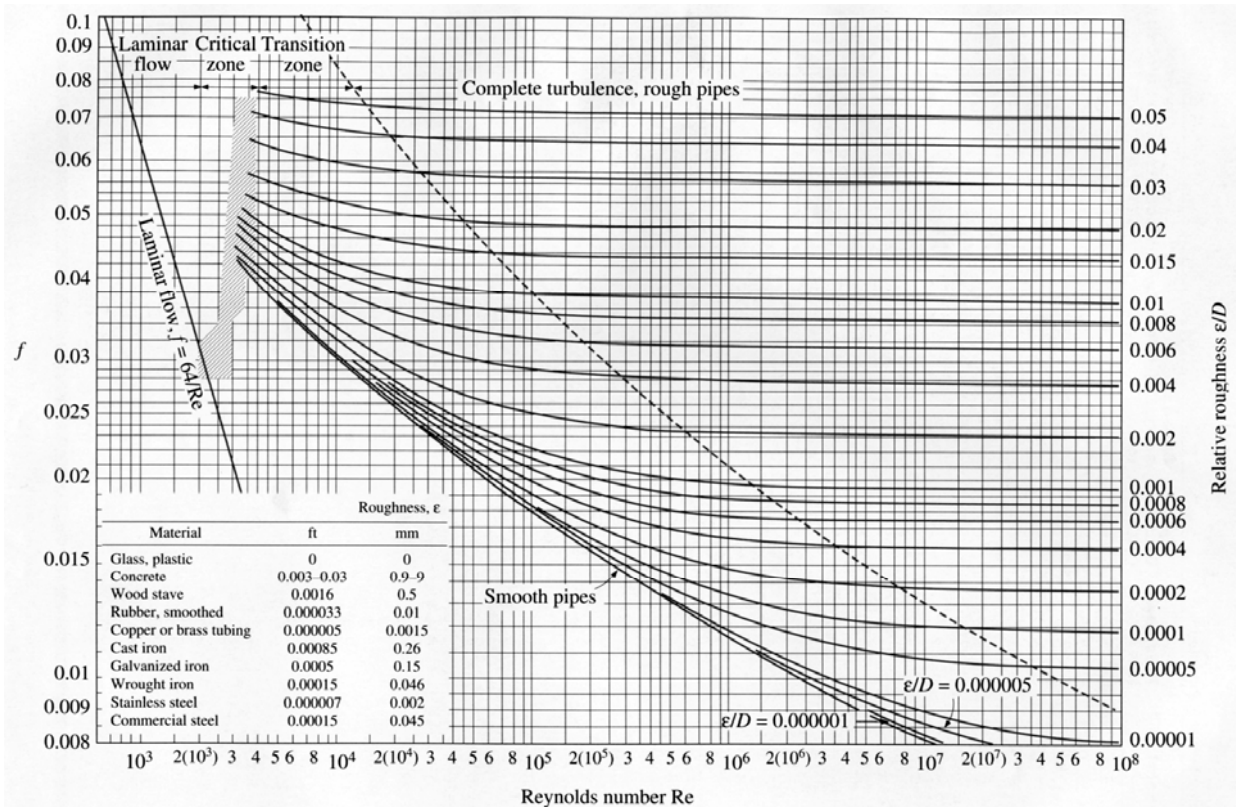


FIGURE A-27
The Moody chart for the friction factor for fully developed flow in circular tubes.

Ilustración 9: Diagrama de Moody

Conociendo el Reynolds en la tubería, la rugosidad (en nuestro caso será de 0.0015mm) pues es tubería de cobre), no tenemos más que usar la grafica para obtener el coeficiente de fricción.

Sabiendo que el caudal obtenido en el apartado del cálculo de la instalación para nuestro circuito primario es de 110 l/h por panel, teniendo 3 paneles esto suma un total de 330 l/h (0,33 m3/h)

Si hacemos una primera estimación con tubería de cobre de 16/18 (16 mm de diámetro interior) y 20/22 (20 mm de diámetro interior) tenemos que el Re se calcula:

$$Re = \frac{V l \rho (glicol)}{\mu (glicol)} \quad \text{Ecuación 72}$$

Siendo la $V = Q/A$, donde el área de la tubería es $A = \pi r^2$. La longitud característica en una tubería es el diámetro. Por tanto

$$Re = \frac{Q 2 r \rho (glicol)}{\pi r^2 \mu (glicol)} \quad \text{Ecuación 73}$$

Con lo que obtenemos un Re de 2.404 para tubería de 20 mm de diámetro interior y de 3.005,38 para tubería de 16 mm. Si trasladamos estos valores a la grafica, vemos que nos encontramos en flujo laminar (que es lo que buscaremos para disminuir f, pues en



turbulento tenemos un mínimo de alrededor de 0,022 para la rugosidad del cobre) y tenemos que aplicar la formula $f=64/Re$.

Nos encontramos entonces que para tubería de 20/22 mm, tenemos un $f = 0,0266$ y para tubería de 16 mm $f= 0,0213$.

Sustituyendo en la $h = 0,0826 \cdot f \cdot Q^2 / D^5$ Ecuación 71:

-Tubería de 16/18 mm: $h= 10,41$ mmca/m

-Tubería de 20/22 mm: $h=5,8$ mmca/m

Con lo cual vemos claramente que nos tenemos que decantar por la tubería de 20 mm de diámetro interior de cobre, pues la de 16 tiene una pérdida de carga bastante mayor (prácticamente el doble). Por otra parte, en el manual del fabricante de paneles nos recomienda tubería de 20 mm para entre 1 y 7 paneles.

V. DIMENSIONADO DE LAS BOMBAS

El primer paso para definir las bombas necesarias, es saber el caudal y la potencia necesaria (sabiendo la altura manométrica a suministrar). Para ello es necesario definir la instalación, es decir, la situación de los elementos (paneles, depósitos, etc) y calcular, sabiendo el caudal, la pérdida de carga en las tuberías. También se obtiene una pérdida de presión en los elementos como codos, válvulas, filtros o intercambiador.

El caudal necesario en el circuito primario será el mismo que discurre por el primario del intercambiador, que es el mismo que circula por los paneles. Recordando que tenemos 3 paneles y que el caudal es de 110 l/h por panel, la bomba tendrá que mover 330 l/h

El total de la pérdida de carga se obtiene determinando la suma de las pérdidas de carga en cada uno de los siguientes elementos:

- ❖ Tubería
- ❖ Paneles
- ❖ Intercambiador de calor
- ❖ Elementos de la tubería (codos, válvulas, filtros, etc)

Todo ello tomando el recorrido más desfavorable en el caso de tener varias ramas. Como nuestro circuito es bastante simple, pues solo tiene 3 paneles en serie, la pérdida de carga total será considerando la tubería de ida, mas la de retorno mas la pérdida de carga producida en un panel, dado que el agua circula por el interior de la batería de tal manera que un tercio del caudal de la batería atraviesa cada uno de los 3 paneles.

- En primer lugar, la pérdida de carga en cada panel nos la da el fabricante. En este caso, Isofoton que la pérdida de carga, para un caudal recomendado de 110 l/h, es de 9,5 mmca por panel.
- En cuanto a la tubería, en el apartado anterior hemos obtenido la pérdida de carga por metro lineal, al calcular la sección. Haciendo una medición según la distribución en planos, tendremos una distancia de tubería de 80 m (contando que tenemos que tener ida y retorno).
Por tanto, $5,8 \text{ mmca/m} \cdot 80\text{m} = 464 \text{ mmca}$

V. Dimensionado de la instalación



- La pérdida debida al intercambiador de calor la podemos obtener de la grafica del fabricante mostrado en anexos, o realizando el cálculo como sigue:
 En un intercambiador de calor de placas, la pérdida de carga viene definida por la expresión:

$$\Delta P = 4 \cdot f \cdot \frac{L}{l_c} \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2} \quad \text{Ecuación 74}$$

Siendo f , el factor de fricción que obtenemos de la siguiente relación:

$$f = C \cdot \text{Re}^m \quad \text{Ecuación 75}$$

- Los valores C y m son constantes y dependen del número de Reynolds:

Re	C	M
Re<10	17	-1
10<Re<101	6,29	-0,57
101<Re<855	1,141	-0,2
Re>855	0,581	-0,1

Tabla 30: Calculo de constantes C y m

Como $\text{Re} = 665$, nos encontramos en el tercer caso luego tenemos:

$$f = 1,141 \cdot \text{Re}^{-0,2} = 0.31$$

Luego la pérdida de carga en el intercambiador de calor será:

$$\Delta P_{IC} = 4 \cdot f \cdot \frac{L}{l_c} \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2} = 41,4 \text{ mmca} \quad \text{Ecuación 76}$$

- Debido a los elementos como codos, válvulas, filtros etc. se obtiene otra pérdida de carga. Habitualmente se valora esta pérdida sustituyendo el elemento por un tramo de tubería de la sección equivalente. La longitud de este tramo esta tabulada.



TABLA DE PERDIDA EN ACCESORIOS Longitud Equivalente en metros				
Diametro	Válv. Retención	Codos	T 90º	Válv. Esfera
12	1.200	0.370	0.530	0.150
15	1.500	0.420	0.600	0.180
18	1.800	0.480	0.670	0.210
22	2.400	0.610	0.900	0.270
28	3.600	0.790	1.100	0.300
35	4.200	1.000	1.520	0.460
42	4.800	1.200	1.750	0.540
54	6.100	1.500	2.200	0.700
63	7.600	1.800	2.650	0.850
80	9.100	2.300	3.350	0.980
100	10.700	2.700	3.900	1.200

Tabla 31: Longitud equivalente en accesorios de tuberías
Fuente: Agencia andaluza de la energía (16)

- 20 x Codos a 90º
- 4 x codos a 45º
- 5 x Válvula de corte
- 1 x Filtro
- 1 x Válvula de retención

Por todo ello, la longitud equivalente siendo todos los elementos de 22 mm de diámetro, será igual a 20,79m. x 5,8 mmCA = 120,58 mmCA.

Sumando todas las pérdidas de carga obtenemos:

$$9,5 + 464 + 41 + 120 = 632,5 \text{ mmca}$$

Por tanto la bomba tiene que estar diseñada para un caudal de 330 l/h y una pérdida de carga de aproximadamente 0,63 mca.

El fabricante de los paneles elegidos, Isofoton, nos da en su catalogo la posibilidad de escoger un kit hidráulico, que incluye en un mismo conjunto la bomba, las válvulas y filtros, el sistema de control de la instalación. En concreto, para tres paneles recomienda el modelo DUPLEX, que incorpora una bomba doble para poder realizar la alternancia entre ellas con el fin de que no esté funcionando continuamente y mejorar su mantenimiento. Además, aumenta la seguridad de funcionamiento en el caso de avería de una bomba, pues la otra actúa de reserva. Igualmente incorpora válvulas de seguridad y manómetro.

Esta dimensionado para funcionar entre 1 a 13 l/min, con lo cual está dentro del rango de nuestras necesidades, y según la grafica de la perdida de carga es suficiente para vencer los 0,65 mca que tenemos.

Por otra parte, facilita el montaje de la instalación así como el control de la misma. Es por ello que elegiremos este grupo, cuyas características se muestran en anexo.

Para realizar el control de la instalación, es necesario contar con una central electrónica que gobernada por las sondas de temperatura (que estarán ubicadas en el depósito y en

V. Dimensionado de la instalación



los paneles solares) pongan en marcha la instalación cuando se aporte calor, y parando las bombas para que no circule agua caliente en los periodos nocturnos o nublados, provocando que el calor almacenado en el depósito fuera evacuado a través de los paneles. Se usará el controlador proporcionado por Isocontrol cuyas características técnicas se muestran en el anexo.

VI. DIMENSIONADO DE LOS VASOS DE EXPANSION

Con el propósito de absorber las dilataciones que existen en un líquido (ya sea agua, ya sea mezcla agua-glicol) al variar su temperatura, y para evitar aumentos indeseados de la presión en el interior del circuito por este motivo al ser un circuito cerrado, que podrían provocar un problema mecánico en las tuberías, captadores o depósitos de acumulación, se ha de instalar un vaso de expansión que absorba dicha variación de volumen al cambiar la temperatura. Esta diferencia de temperatura se encontrará entre la mínima temperatura cuando la instalación no está funcionando y la máxima admisible de la instalación. La temperatura mínima será la temperatura a la que se fija el vaso de expansión en la puesta en servicio de la instalación, y deberá ser lo más cercana a la mínima temperatura de funcionamiento de la instalación, para evitar que el volumen de la instalación pueda ser menor que el fijado como base en el vaso de expansión. Dado que al calcular las propiedades del glicol vimos que la temperatura mínima en Alicante es de $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$, podemos suponer que la temperatura mínima de la instalación será igual o superior (puesto que a menor temperatura se llegaría a congelar la mezcla de glicol, e históricamente nunca se ha superado dicha marca).

Por otra parte, la máxima temperatura que se obtiene de los cálculos de Mathcad según la Tabla 29 es de 352°K , esto es $79\text{ }^{\circ}\text{C}$ en media mensual en el mes de Agosto. Dado que es una media mensual, pueden darse valores puntuales superiores, pero nunca deberemos superar los $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ para evitar vaporización, y es por ello por lo que se instala un aerotermo. Por tanto, para diseñar el vaso de expansión tomaremos una máxima en la instalación de $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ y una mínima de $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

El volumen nominal de un vaso de expansión cerrado es mayor que el volumen útil, según una relación denominada coeficiente de utilización, K_u , de tal forma que:

$$V_n = V_u / K_u \quad \text{Ecuación 77}$$

Para determinar el volumen útil del vaso de expansión, es necesario el coeficiente de dilatación del fluido a la temperatura máxima de trabajo, que hemos diseñado anteriormente en $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ y el volumen total del fluido a la temperatura en frío, que coincidirá con la capacidad total del circuito.

$$V_{\text{exp}} = C_e \cdot V_t \quad \text{Ecuación 78}$$

El coeficiente de expansión térmica se obtiene de la gráfica mostrada en anexos para la concentración de glicol de 18% según el apartado IV.4, y para la temperatura de $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, arrojando un valor de 0,18. Dado que para un valor de $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ y concentración de 18%, el valor es de 0,05 puesto que la referencia es para concentración del 60% de glicol, el coeficiente a usar es la diferencia, por tanto 0,13, es decir a $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ el volumen total de la instalación es un 13% mayor que a $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

V. Dimensionado de la instalación



Para calcular el volumen total de la instalación en el circuito primario (que es el que contiene glicol) se obtiene como la suma del líquido contenido en la tuberías mas los paneles, así como el intercambiador y el aerotermo.

En los paneles se alojan 1,5 l según especificación del fabricante, existiendo 3 paneles. En las tuberías tenemos una capacidad de 0,314 l/m, dado que su diámetro interior es de 20mm, y multiplicando por la distancia total de tubería de 80 m, tenemos un total de 25,12 l.

Asumiremos una capacidad del intercambiador de un litro (no tenemos datos, pero por el tamaño del intercambiador no será incluso inferior) y otro litro en el aerotermo.

Por tanto el volumen del vaso, V_{exp} , será igual:

$$V_t 25,12+4,5+1+1 = 31,62 \text{ l}$$

$$C_e=0,13$$

$$V_{exp}=4,12 \text{ l} = V_u$$

Para hallar el coeficiente K_u , se calcula como:

$$K_u = \frac{(p_f - p_i)}{p_f}$$

Donde p_f es el mayor valor de presión absoluta que no provoque la actuación del a válvula de seguridad, y p_i la presión de llenado del circuito en frío, habitualmente comprendida entre 0,5 y 1,5 bar.

$$p_f = p_{atm} + p_{vs} - dp + p_{dif} = 6,5 \text{ bar}$$

Siendo P_{vs} la presión de tarado de la válvula de seguridad (5 bar), dp el margen de seguridad para evitar que la válvula se dispare estando dentro de parámetros de funcionamiento, y p_{dif} la presión diferencial por estar a diferente cota el vaso de expansión y la válvula de seguridad.(en este caso 15 m al estar el vaso en el sótano y la válvula en la cubierta)

$$p_i = p_{atm} + p_{mf} + p_{est} = 4 \text{ bar}$$

Siendo p_{mf} la presión relativa en el punto más alto del circuito (1,5 bar) y p_{est} la presión estática por la diferencia de altura

Por lo tanto, $K_u = 0,38$ y $V_n = 11 \text{ l}$. Se escoge un vaso de expansión comercial que esté al menos por encima de dicho valor, escogiendo de la marca Sedical el vaso Reflex S-12.

Siguiendo el mismo procedimiento, se obtiene el volumen del vaso de expansión del circuito secundario, donde el fluido el agua en vez de glicol, y por tanto C_e es distinto. Por debajo de 100 °C se puede tomar como lineal con un valor de $2,1 \times 10^{-4}/^{\circ}\text{C}$

V. Dimensionado de la instalación



El volumen a tener en cuenta será el volumen del acumulador solar de 750l, mas las tuberías en sala de calderas mas la acumulación de ACS de 200l.

Por tanto, tenemos un total de 960l. Dado que en el circuito secundario la temperatura máxima será menor que en el primario, a su gran inercia térmica debido al tamaño de los acumuladores, a la continua entrada de agua fría para reponer la que se consume, y que por seguridad no pasaremos de 70 °C para evitar quemaduras en el consumo, y dado que la temperatura mínima al estar en una sala cerrada y con aislamiento nunca será menor de la entrada de agua fría de red que en su menor valor es de 8 °C, la diferencia de temperatura será menor, de 62 °C. Por ello, $C_e = 0,13$ y $V_u = 124,8$ l

Para calcular K_u , obtenemos p_f y p_i . Como en este caso la válvula de seguridad estará en el propio deposito, $p_f = p_{atm} + p_{vs} = 5,5$ bar y $p_i = p_{atm} + p_{mf} = 2,5$ bar.

Con estos valores, $K_u = 0,54$ y $V_n = 231$ l.

Por ello se selecciona el vaso de Sedical Reflex S250 de 250L.

Una vez seleccionados todos los componentes ya esta dimensionada la instalación. El esquema de principio de la instalación se muestra en el anexo.



VI. ESTUDIO MEDIOAMBIENTAL



Para poder calcular el ahorro en términos de CO₂, obtenemos cual es la cantidad de energía primaria que se deja de consumir debido a que se aporta ahora a través de energía renovable dejando de consumir por tanto combustibles fósil, en este caso el gas natural.

Con los cálculos de Mathcad realizados anteriormente mensualmente, se da la Tabla 32:

	Q solar (MJ)	Energía necesaria (MJ)	% ahorrado
Enero	1.574	4.126	38,1%
Febrero	1.813	3.524	51,4%
Marzo	2.562	3.574	71,7%
Abril	2.454	3.380	72,6%
Mayo	2.720	3.386	80,3%
Junio	2.605	3.112	83,7%
Julio	2.801	2.801	100,0%
Agosto	2.802	2.802	100,0%
Septiembre	2.887	2.898	99,6%
Octubre	2.646	3.127	84,6%
Noviembre	1.964	3.425	57,3%
Diciembre	1.591	3.942	40,4%
	28.419	40.097	70,9%

Tabla 32: Relación entre energía necesaria y aportada por el sistema solar

Con estos datos podemos observar que se tendría un ahorro de energía útil de 30.292 MJ, que equivale a un 70,9 % de las necesidades anuales. Teniendo en cuenta un rendimiento estimado de la caldera del 90 %, el ahorro en términos de MJ de gas sería de 28.549 MJ al año. (En realidad, el ahorro de energía sería mayor, pues no estamos teniendo en cuenta la energía usada en la obtención, refino y transporte del gas, aunque en contra esta el hecho de que tampoco tenemos en cuenta el coste energético de producir los paneles solares, el transporte de estos hasta su emplazamiento ni el coste energético del bombeo en el circuito solar.)

Teniendo en cuenta que el volumen de gas natural del que se obtiene un calor determinado Q se calcula:

$$V(m^3) = \frac{Q}{PCI \cdot \eta}$$

Donde PCI es el poder calorífico inferior, 36,6 MJ/m³ según el anexo A de la norma UNE 123-001-94

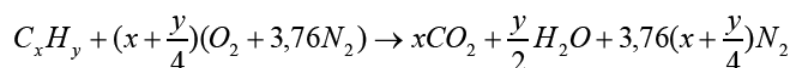
Dado que ahorramos 28.549 MJ, equivale a un volumen de gas de 866.69 m³

Para poder saber cuánta cantidad vamos a dejar de emitir tendremos que saber en primer lugar cuál es la composición del Gas Natural, siendo ésta según el catálogo de Gas Natural la siguiente:

Hidrocarburo	Composición Química	%
Metano	CH ₄	91,4
Etano	C ₂ H ₆	7,2
Propano	C ₃ H ₈	0,8
Nitrógeno	N ₂	0,6

Tabla 33: Composición química del gas natural en porcentaje.
Fuente: Gas Natural (12)

Considerando que la combustión del Gas Natural con aire es una reacción estequiométrica, es decir, en la que la cantidad de aire es la necesaria para quemar completamente el combustible y los únicos productos que se forman son CO₂, H₂O y N₂, tenemos la siguiente relación:



Estando expresados x e y en moles.

Como la composición de Gas Natural está expresada en % de volumen, necesitamos pasarla a moles, aplicando la fórmula de la ecuación de estado de los gases ideales, PV=nRT.

Tomando para una presión de 1 atm y 25°C, y si cogemos V=1m³ tenemos que:

$$n = 40,89 \text{ mol /m}^3$$

Una vez conocido el número de moles totales de 1 m³ de gas, tendremos que multiplicar este valor por los correspondientes tantos por ciento de los componentes del Gas Natural, ya que la producción en volumen es la misma que en moles, así obtenemos:

Hidrocarburo	Composición Química	Moles
Metano	CH ₄	37,37
Etano	C ₂ H ₆	2,94
Propano	C ₃ H ₈	0,327
Nitrógeno	N ₂	0,245

Tabla 34: Composición química del gas natural en moles



Realizando equilibrio de Carbono, Hidrógeno, Oxígeno y Nitrógeno según la relación estequiometrica anterior, obtenemos que se consigan 44,23 moles de CO₂ por m³ de Gas Natural.

Para conocer la masa correspondiente a cada mol, utilizamos la siguiente expresión:

$$n=m/Pm$$

Siendo:

n: Número de moles.

m: Masa (gramos)

Pm: Peso molecular del CO₂ (gramos) = 44 g

Y por tanto se deduce que la masa de CO₂ por cada m³ de gas es igual a 1,946 Kg. Tomando el ahorro anual en gas natural anteriormente de 866.69 m³, se traduce en una disminución del CO₂ emitido a la atmosfera como consecuencia del aprovechamiento solar de 1.686,57 Kg.

Considerando una vida útil de la instalación de aproximadamente 25 años, estamos evitando emitir 42,16 toneladas de CO₂ a la atmósfera, contribuyendo por tanto a la mejora del medioambiente y a la consecución de los objetivos del protocolo de Kioto.

VII. ESTUDIO ECONOMICO



A la hora de realizar una instalación solar, uno de los factores más importantes es el ahorro económico, y íntimamente ligado a ello, el periodo de amortización. Esto es, el tiempo que se va a tardar en pagar la instalación mediante el ahorro que representa. Habitualmente, este tiempo suele estar en torno a los 10-12 años en la mayoría de las instalaciones de energía solar térmica de tamaño normal, tiempo más que suficiente de vida útil de los elementos de la instalación.

El primer paso es realizar un estudio de ahorro económico anual. Para ello, hay que tener en cuenta la cantidad de energía primaria que vamos a ahorrar, y el precio de esta energía.

En nuestro caso, la alimentación de la instalación será con gas natural, provisto mediante canalización enterrada a través del distribuidor local. Aunque la distribución del gas está liberalizada, el precio del Kw de gas natural está regulado mediante la publicación trimestral en el BOE, siendo la última resolución del jueves 30 de septiembre de 2010, la cual entra en vigor a partir del día 1 de octubre. Dichos precios se muestra en la Tabla 35

Primero.—Los precios sin impuestos de la tarifa de último recurso de suministro de gas natural, serán los indicados a continuación:			
Tarifa		Término	
		Fijo (€/cliente)/mes	Variable cent/kWh
TUR.1	Consumo inferior o igual a 5.000 kWh/año	3,90	4,694948
TUR.2	Consumo superior a 5.000 kWh/año e inferior o igual a 50.000 kWh/año	7,84	4,130748

Segundo.—La tarifa a aplicar a los consumidores de gases manufacturados por canalización situados en territorios insulares, es la que se indica a continuación:			
Tarifa		Término	
		Fijo (€/cliente)/mes	Variable cent/kWh
T.1	Consumo inferior o igual a 5.000 kWh/año	3,90	4,694948
T.2	Consumo superior a 5.000 kWh/año e inferior o igual a 50.000 kWh/año	7,84	4,130748
T.3	Consumo superior a 50.000 kWh/año e inferior o igual a 100.000 kWh/año	49,84	3,621911
T.4	Consumo superior a 100.000 kWh/año	149,44	3,367011

Tabla 35: Precio del gas natural en España.
Fuente: BOE a fecha 1 de septiembre 2010

Como hemos visto las necesidades de consumo anuales son de 40.097 MJ de energía útil. A esta cantidad hay que restar la energía aportada por el sistema solar, que como se ha visto en el capítulo de estudio medioambiental (Tabla 32) resulta ser de 28.419 MJ. Por lo tanto, necesitamos que el gas natural aporte los 11.678 MJ restantes.

Debido a que la quema de gas natural tiene un rendimiento inferior a 1 (puesto que no existen calderas perfectas) el gas natural necesario será superior. Normalmente las calderas usadas para este tipo de usos (producción de ACS mediante sistema centralizado) suelen ser superior a 90%.



Teniendo en cuenta el rendimiento de la caldera, estamos ahorrando una cantidad de gas de $28.419/0.9 = 31.576,66$ MJ, que traduce en $8.771,29$ Kwh

Por tanto, nos encontramos en el escalón segundo al pasar de 5.000 Kwh anuales (tarifa T.2), en la que el precio del KWh está situado en $0,04130748$ €.

Con estos datos, podemos calcular el coste de la energía que hemos ahorrado anualmente en $8.771,29$ KWh x $0,04130748 = 362,32$ €/ año.

Periodo de amortización

Para saber en qué tiempo se amortiza la instalación, una vez resuelto que el ahorro es de $362,32$ € anuales, es necesario saber el coste de la instalación, o inversión inicial. Para ello, se da en el anexo el presupuesto de una empresa instaladora especializada en estos trabajos. Este presupuesto asciende a 8116.54 €, incluyendo los costes de legalizaciones.

Para el cálculo del valor actual neto (VAN) se utiliza la siguiente ecuación:

$$VAN = -I_0 + \sum_{i=1}^n \frac{CF_i}{(1+k)^i}$$

Donde:

- I_0 Inversión inicial (coste de la instalación).
- CF Flujo de caja
- K Tasa de descuento (inflación media anual prevista, $2,5\%$)

Para hallar n, de tal manera que el VAN sea cero, despejamos:

$$VAN = -I_0 + \sum_{i=1}^n \frac{CF_i}{(1+k)^i} \Rightarrow 0 = -I_0 + \sum_{i=1}^n \frac{CF}{(1+k)^i}$$

Dado que el precio de la energía está en constante aumento, se ha estimado una media de un 5% anual, de tal manera que hemos considerado que el flujo de caja CF debido al ahorro no es constante, actualizándolo con un 5% anual.

En la Tabla 36 se ve la progresión por cada periodo de un año:

Año	CF	CF corregido	(1+K) _i	CF/(1+K) _i	Acumulado	VAN	VAN (Ayudas)
1	362,32 €	362,32 €	1,03	353,48 €	353,48 €	- 7.763,06 €	- 4.110,61 €
2	362,32 €	367,75 €	1,05	350,03 €	703,52 €	- 7.413,02 €	- 3.760,58 €
3	362,32 €	373,27 €	1,08	346,62 €	1.050,14 €	- 7.066,40 €	- 3.413,96 €
4	362,32 €	378,87 €	1,10	343,24 €	1.393,37 €	- 6.723,17 €	- 3.070,72 €
5	362,32 €	384,55 €	1,13	339,89 €	1.733,26 €	- 6.383,28 €	- 2.730,83 €
6	362,32 €	390,32 €	1,16	336,57 €	2.069,84 €	- 6.046,70 €	- 2.394,26 €
7	362,32 €	396,18 €	1,19	333,29 €	2.403,13 €	- 5.713,41 €	- 2.060,97 €
8	362,32 €	402,12 €	1,22	330,04 €	2.733,16 €	- 5.383,38 €	- 1.730,93 €
9	362,32 €	408,15 €	1,25	326,82 €	3.059,98 €	- 5.056,56 €	- 1.404,12 €
10	362,32 €	414,27 €	1,28	323,63 €	3.383,61 €	- 4.732,93 €	- 1.080,49 €
11	362,32 €	420,49 €	1,31	320,47 €	3.704,08 €	- 4.412,46 €	- 760,01 €
12	362,32 €	426,79 €	1,34	317,35 €	4.021,43 €	- 4.095,11 €	- 442,67 €
13	362,32 €	433,20 €	1,38	314,25 €	4.335,68 €	- 3.780,86 €	- 128,42 €
14	362,32 €	439,69 €	1,41	311,18 €	4.646,86 €	- 3.469,68 €	182,76 €
15	362,32 €	446,29 €	1,45	308,15 €	4.955,01 €	- 3.161,53 €	490,91 €
16	362,32 €	452,98 €	1,48	305,14 €	5.260,15 €	- 2.856,39 €	796,05 €
17	362,32 €	459,78 €	1,52	302,16 €	5.562,32 €	- 2.554,22 €	1.098,22 €
18	362,32 €	466,68 €	1,56	299,22 €	5.861,53 €	- 2.255,01 €	1.397,43 €
19	362,32 €	473,68 €	1,60	296,30 €	6.157,83 €	- 1.958,71 €	1.693,73 €
20	362,32 €	480,78 €	1,64	293,41 €	6.451,24 €	- 1.665,30 €	1.987,14 €
21	362,32 €	487,99 €	1,68	290,54 €	6.741,78 €	- 1.374,76 €	2.277,68 €
22	362,32 €	495,31 €	1,72	287,71 €	7.029,49 €	- 1.087,05 €	2.565,39 €
23	362,32 €	502,74 €	1,76	284,90 €	7.314,39 €	- 802,15 €	2.850,29 €
23	362,32 €	510,28 €	1,76	289,18 €	7.603,57 €	- 512,97 €	3.139,47 €
24	362,32 €	517,94 €	1,81	286,35 €	7.889,92 €	- 226,62 €	3.425,83 €
25	362,32 €	525,71 €	1,85	283,56 €	8.173,48 €	56,94 €	3.709,39 €

Tabla 36: VAN para cada año

Por tanto llegamos a la conclusión que para amortizar la instalación con la hipótesis de un aumento de la energía de un 5% en media anual, y una inflación de un 2,5%, necesitaremos 25 años si no tenemos en cuenta las ayudas para el fomento de la energía renovable.

En la comunidad Valenciana se han creado planes para fomentar las energías renovables, entre las que se encuentra la solar térmica. Dichos planes se canalizan a través de la Agencia Valenciana de la Energía, AVEN, cuyo objetivo es aumentar la eficiencia energética, mejorar el abastecimiento y seguridad de suministro de la energía, promociona la diversificación de fuentes y mejorar el autoabastecimiento para reducir la dependencia energética del exterior. Para ello, uno de sus pilares es aumentar el ratio de energía solar en la Comunidad Valenciana, generando las condiciones oportunas para aumentar la inversión en este apartado.

Durante el ejercicio 2010, este programa cuenta con la colaboración del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), según lo estipulado en las cláusulas del



convenio firmado con la AVEN el 16 de febrero de 2010, con el fin de facilitar la consecución de los objetivos previstos, a escala nacional, en el Plan de Energías Renovables en España 2005 - 2010 (PER), aprobado por Consejo de Ministros de fecha 26 de agosto de 2005 y, a escala autonómica, en el Plan de Energías Renovables de la Comunidad Valenciana, podrá contar con la financiación del Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER), a través del Programa Operativo de la Comunidad Valenciana 2007-2013. Dichas ayudas consisten en una subvención a fondo perdido de hasta el 45% del coste elegible del proyecto, a las que pueden acogerse empresas, particulares, ayuntamientos o entidades públicas que tenga su sede en la Comunidad Valenciana.

Por tanto, el coste de inversión resultante una vez obtenidas las ayudas será de 4.464,09€, si tomamos que obtendremos el total de la subvención, y el nuevo periodo de amortización será de 13,8 años tal como se muestra en la Tabla 36

VIII. CONCLUSIONES



El objetivo del presente proyecto es diseñar una instalación de energía solar, de tal manera que se cumplan unas expectativas en cuanto a cumplimiento de normativa, máximo acercamiento a la realidad en los resultados simulados, comprobación de la rentabilidad económica del proyecto y de la posibilidad técnica de las soluciones adoptadas.

Para ello, tomando unos datos de partida en cuanto a ubicación de la instalación, propósito de la misma, número de viviendas y tamaño de las mismas, y tomando en consideración los datos que se encuentran disponibles y accesibles al público mediante distintos cauces (normativa, bases de datos de climatología, tablas de características técnicas de los equipos y materiales empleados en el proyecto), llegar a ser capaces de diseñar una instalación y simular los resultados de la forma más detallada y aproximada a la realidad posible, de tal forma que si hubiera que realizar dicha instalación los datos obtenidos empíricamente no deberían diferenciarse mucho de los teóricos.

A modo de resumen se describe los puntos más importantes:

1. Se ha realizado el proyecto para la instalación de paneles solares térmicos para apoyo a la producción de ACS en un edificio de 10 viviendas en altura.
2. La ubicación del mismo es la provincia de Alicante.
3. Se ha proyectado la instalación de 3 paneles solares, con un volumen de almacenamiento solar de 750l, y producción centralizada mediante apoyo de gas natural, de tal manera que cubren un 72,2 % de la demanda de energía para producción de ACS, frente al 70% exigido por el CTE
4. Esta reducción en el consumo de energía primaria (gas) se traduce en un ahorro anual de 28.419 MJ, equivalente a un volumen de gas de 866.67 m³/año
5. La disminución del CO₂ emitido a la atmosfera como consecuencia del aprovechamiento solar es de 1.686,57 Kg/año. Considerando una vida útil de la instalación de aproximadamente 25 años, estamos evitando emitir 42,74 toneladas de CO₂
6. La instalación ahorra un promedio anual de 362,32 €/ año, lo que teniendo en cuenta una inflación de 2,5% anual y un aumento del precio de la energía del 5% anual, supone un tiempo de amortización de 25 años sin tener en cuenta subvenciones, y de hasta un mínimo de 13,8 años si se consiguen el total de la subvención de hasta el 45% del coste de instalación. Dado que el periodo de vida estimado es de al menos 25 años, es una inversión rentable desde el punto de vista económico.

En cuanto a los objetivos académicos, el presente Proyecto Fin de Carrera ha servido para dotar al alumno de los conocimientos adecuados para afrontar el diseño de un sistema de producción de ACS mediante energía solar, de tal manera que sea realizable y viable tecnológicamente y económicamente, cumpliendo con los requisitos de la normativa.

IX. BIBLIOGRAFIA



1. Código Técnico de la Edificación. (CTE)
2. DTIE 1.01 (Preparación de agua caliente para usos sanitarios)
3. Reglamento de instalaciones térmicas en edificios (RITE)
4. Apuntes Ingeniería Térmica (Departamento ingeniería Térmica UC3M)
5. Censolar (www.censolar.es)
6. Asociación española de meteorología AEMET (www.aemet.es)
7. Instituto nacional de estadística INE (www.ine.es)
8. METEORED (www.meteored.com)
9. Catalogo técnico Suicalsa (www.suicalsa.com)
10. Catalogo técnico FERROLI (www.ferroli.es)
11. Catalogo técnico ISOFOTON (www.isofoton.com)
12. Gas Natural (www.gasnatural.com)
13. Agencia Valenciana de la Energía (AVEN) www.aven.es
14. www.windfinder.com
15. BOE (www.boe.es)
16. Agencia Andaluza de la energía (www.agenciaandaluzadelaenergia.es)
17. Asociación de la industria Fotovoltaica (ASIF) (www.asif.es)
18. Fundamentos de transferencia de calor. Frank P. Incropera, David P. DeWitt.
19. M. Conde engineering
20. Duffie, J. A. y Beckman, W. A: Solar Engineering of Thermal Processes. Editorial John Wiley & Sons, 1980.
21. Estudio sobre Transferencia de Calor en colectores solares planos, considerando velocidad y dirección del viento. Rodríguez, M.C., Rodríguez, P.A., Salgado, R., Venegas, M., Lecuona, A.
22. Swinbank, W. C., 1963, «Long-wave radiation from clear skies», Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, pp.89
23. M. Picón Núñez/J.L. López Robles / C. Miranda Álvarez “Diseño de intercambiadores de calor de plato marco en arreglo simple y multipaso” Revista Mexicana de Ingeniería Química, año/vol. 3, número 001.

X. ANEXOS

➤ DATOS TECNICOS COLECTOR SOLAR



isofotón
el sol al servicio del hombre







FÁBRICA: PARQUE TECNOLÓGICO ANDALUCIA (PTA) C/ Severo Ochoa, 50. 29590 Málaga (España) Tel: +34 951 23 35 00 Email: isofotonum@isofoton.com
 OFICINA COMERCIAL: ISOFOTÓN C/ Montalbán, 9. 28014 Madrid (España) Tel: +34 91 414 78 00 Fax: +34 91 414 79 00 Email: isofoton@isofoton.com

CAPTADOR
ISOTHERM PLUS

FORMATO	
TIPO	Parrilla
MATERIAL TUBOS DISTRIBUIDORES	Cobre 22 x 1 (UNE-EN 1057 y UNE-EN 12165)
MATERIAL TUBOS SECUNDARIOS	Cobre 8 x 0.5 (UNE-EN 1057 y UNE-EN 12165)
NÚMERO DE TUBOS SECUNDARIOS	10
SEPARACIÓN ENTRE TUBOS SECUNDARIOS	100 mm
SOLDADURA	Soldadura fuerte, estaño-fósforo-plata
BANDA SELECTIVA	
MATERIAL	Cobre con recubrimiento de Óxido de Titanio
DIMENSIONES	2205 x 1000 x 0.2 mm
ABSORTIVIDAD	0,95 ± 2%
EMISIVIDAD	0,05 ± 2%
ABSORBEDOR	
UNIÓN BANDA - TUBO	Soldadura por ultrasonidos
SUPERFICIE DE ABSORCIÓN	2,205 m ²
CAPACIDAD	1,5 l
PRESIÓN MÁX. DE TRABAJO	8 Kg/cm ²
PRESIÓN DE PRUEBA	16 Kg/cm ²
PESO EN FUNCIONAMIENTO	9,1 Kg
PESO EN VACÍO	7,6 Kg



www.isofoton.com



CUBIERTA DE VIDRIO	
TIPO	Solar templado
ESPESOR	4 mm
CONTENIDO EN HIERRO	< 0,05 %
DIMENSIONES	2225 x 1021 mm
TRANSMITANCIA	91 %
JUNTA DE ESTANQUEIDAD	EPDM
AISLAMIENTO	
MATERIAL	Lana de roca
ESPESOR LATERAL Y TRASERO	25 mm y 55 mm
CONDUCTIVIDAD	0,036 W/mK
COMPORTAMIENTO AL AGUA	No higroscópico (BS-2972)

CAJA	
MATERIAL	Aluminio anodizado
DIMENSIONES	2278 x 1075 x 110 mm
SUPERFICIE BRUTA	2,4 m ²
PESO	
PESO EN FUNCIONAMIENTO	49,5 Kg
PESO EN VACÍO	48 Kg
OTROS	
CURVA DE EFICIENCIA EN 12975	η_0 : 0,773; k_1 : 3,243 W/m ² K k_2 : 0,014 W/m ² K ²
POTENCIA TÉRMICA	1,54 kW
GARANTÍA	10 años
EMBALAJE, Nº CAPTADORES/PALET	Individual, 15 unidades

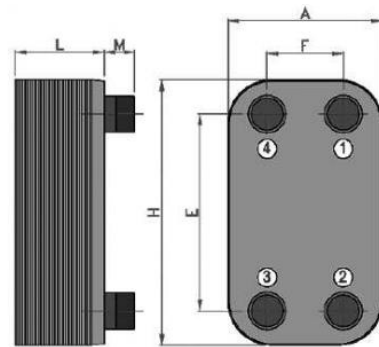


OBSERVACIONES

- Opción recomendada: kit de interconexión compuesto por manguitos, tapones ciegos y manguitos M3/4 entrada/salida.
- Para pedidos inferiores a palets completos habrá un incremento en el coste del captador por embalaje especial.
- Todas las especificaciones están sujetas a cambio sin previo aviso. Para conocer más detalles, por favor, visite www.isofoton.com

Edición: Febrero 2007

➤ DATOS TECNICOS DEL INTERCAMBIADOR



CONEXIONES

- 1 - Entrada primario (fluido caliente)
- 2 - Salida primario (fluido caliente)
- 3 - Entrada secundario (fluido frío)
- 4 - Salida secundario (fluido frío)

CÓDIGOS

IPT 0601 24 30

- Presión de diseño (en bares)
- Número de placas
- Modelo de intercambiador

DATOS TÉCNICOS Y CONDICIONES DE DISEÑO

Modelo	Presión max. funcionamiento (bar)	Temperatura funcionamiento (°C)	Área / placa (m ²)	Peso (kg)
IPT0601	30	-160 / 200	0,0123	0,8 + 0,05*nº placas
IPT0602	30	-160 / 200	0,0265	1,8 + 0,135*nº placas
IPT0607	16	-160 / 200	0,1036	8,5 + 0,49*nº placas

DIMENSIONES

Modelo	Dimensiones(mm)						Conexiones
	H	E	A	F	M	L	Roscas MACHO
IPT0601	194	154	80	40	20	10 + 2,25*nº placas	3/4"
IPT0602	306	250	106	50	27	12,4 + 2,36*nº placas	1"
IPT0607	527	430	245	148	42	11 + 2,85*nº placas	2"

DATOS DE FUNCIONAMIENTO PARA PRODUCCIÓN ACS - CALENTAMIENTO POR PANEL SOLAR

Nº placas	Código	Potencia (kw)	Caudal (litros/hora)		Pérdida de carga (mca)		Peso (kg)
			Primario	Secundario	Primario	Secundario	
14	IPT06011430	5	450	135	0,29	0,04	1,5
24	IPT06012430	10	900	270	0,45	0,05	2,0
46	IPT06014630	20	1.800	540	0,86	0,08	3,1
26	IPT06022630	30	2.700	810	2,81	0,31	5,3
34	IPT06023430	40	3.600	1.080	2,99	0,32	6,4

Los datos térmicos están calculados para un primario propilenglicol al 30% de 55 a 45°C y un secundario con agua de 15 a 47°C.

DATOS DE FUNCIONAMIENTO PARA PRODUCCIÓN ACS - CALENTAMIENTO POR CALDERA

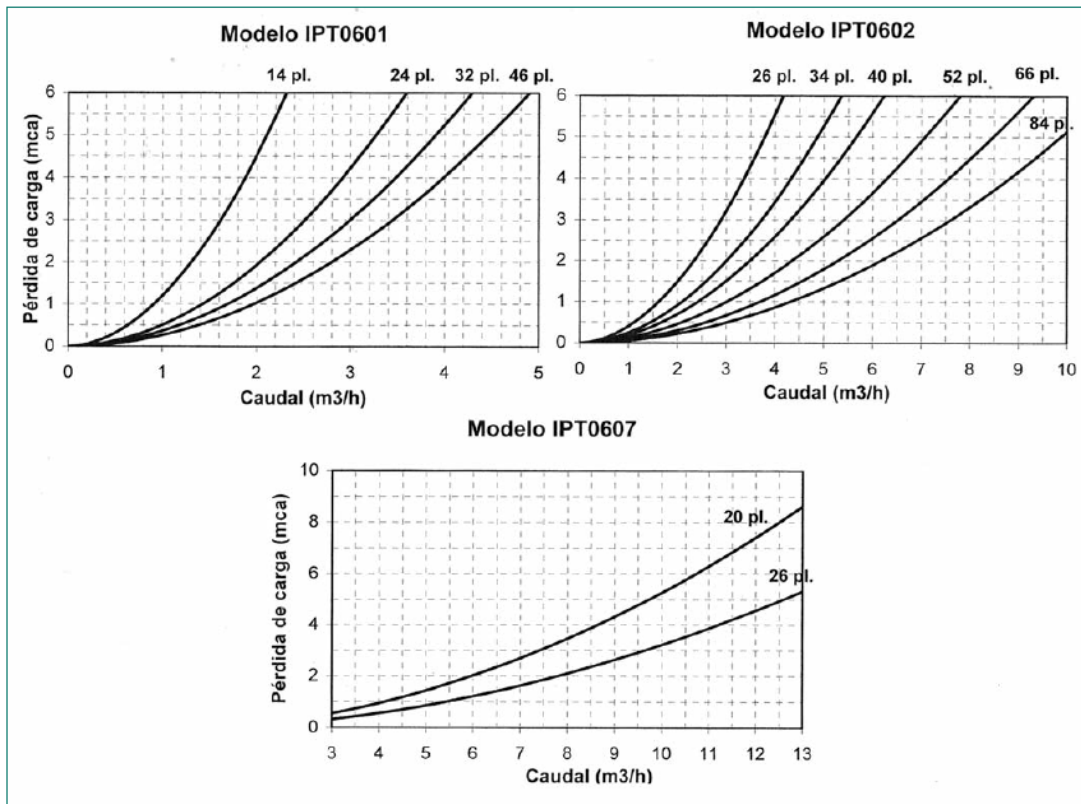
Nº placas	Código	Potencia (kw)	Caudal (litros/hora)		Pérdida de carga (mca)		Peso (kg)
			Primario	Secundario	Primario	Secundario	
14	IPT06011430	30	1.338	648	1,99	0,72	1,50
24	IPT06012430	55	2.448	1.188	2,74	0,84	2,00
46	IPT06014630	80	3.522	1.704	2,96	0,78	3,10
40	IPT06024030	100	4.458	2.154	2,55	0,87	7,20
52	IPT06025230	125	5.568	2.694	2,92	0,84	8,80
66	IPT06026630	150	6.684	3.234	2,92	0,82	10,70
84	IPT06028430	175	7.800	3.774	2,92	0,80	13,10
20	IPT06072016	200	8.910	4.314	2,94	1,00	18,30
26	IPT06072616	250	11.142	5.388	2,75	0,89	21,20

Los datos térmicos están calculados para un primario con agua de 90 a 70°C y un secundario con agua de 15 a 55°C.

Intercambiador de calor de placas termosoldadas

IPT

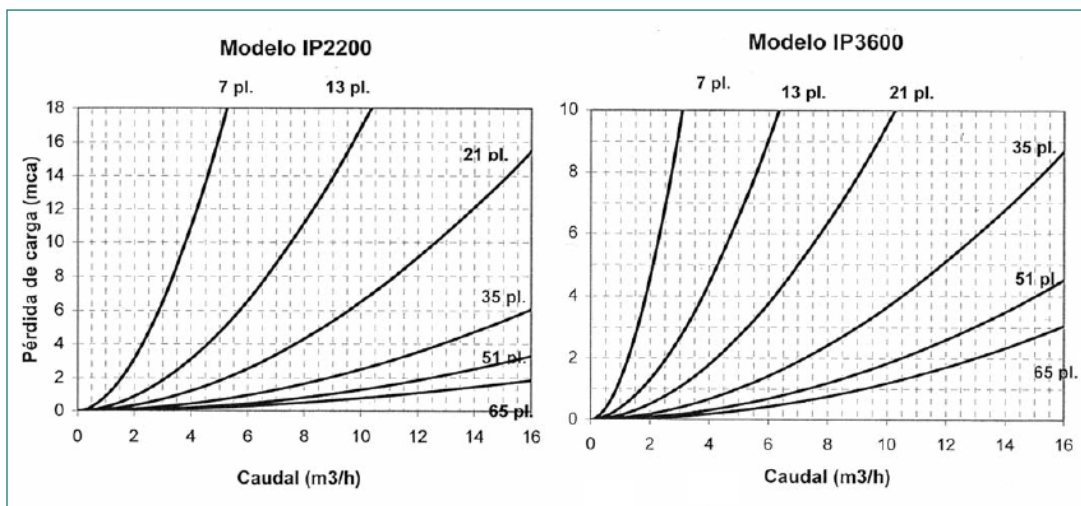
DIAGRAMAS DE PÉRDIDA DE CARGA A TRAVÉS DE LOS INTERCAMBIADORES IPT



Intercambiador de calor de placas desmontables

IP

DIAGRAMAS DE PÉRDIDA DE CARGA A TRAVÉS DE LOS INTERCAMBIADORES IP



SUICALSA 

➤ DATOS TECNICOS DEL DEPOSITO SOLAR

DAB

Acumulador Polywarm® VERTICAL AISLADO



INFORMACIÓN TÉCNICA

Depósito acumulador construido en acero carbono con revestimiento interno Polywarm®, idóneo para estar en contacto con agua potable, de acuerdo a la directiva 89/109/CEE.

APLICACIÓN

Acumulación de agua caliente sanitaria (ACS) para uso doméstico o industrial. Idóneo para su montaje en instalaciones con paneles solares, al tener equipado una boca de inspección de diámetro interior DN400 para capacidades superiores a los 750 lts. tal y como se indica en el apartado 3.4.2. de la sección HE4- Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria del Código Técnico de la Edificación.

APLICACIÓN

Se suministra aislamiento estándar de espuma de poliuretano flexible de 50 mm y coeficiente de conductividad térmica 0,038 W/m²K. Terminación exterior con funda skay de 0,28 mm y color rojo. Como opción se puede suministrar SIN AISLAMIENTO o con otro tipo de aislamiento y acabado exterior (funda para intemperie, chapa de aluminio, amaflex, lana de roca ...). Ver opciones en AISLAMIENTOS.

CÓDIGOS

El producto queda definido mediante el siguiente código:

Ejemplo

DAB 200 PW 08 RPF CX

Capacidad en litros/10

Código de materiales

PW: Revestimiento Polywarm®

Presión de diseño en bares

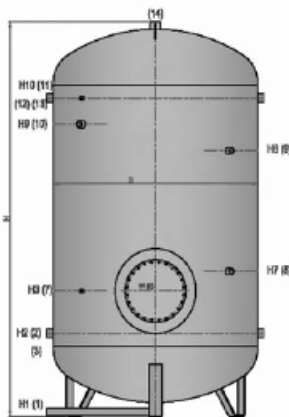


Código protección catódica

CX: Anodo CORREX

Código de tipo aislamiento

RPF: Aislamiento estándar



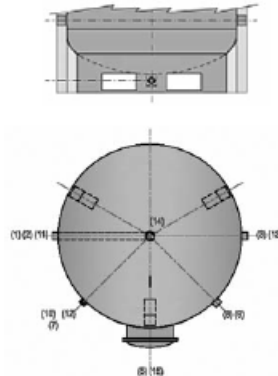
Df: Diámetro de acumulador sin aislamiento

De: Diámetro acumulador con aislamiento

H: Altura total

A: Altura necesaria de sala caldera para poder levantar / tumbar el acumulador

Para capacidades de 1500 a 5000 l las patas se sustituyen por peanas con huecos para facilitar el manejo del acumulador para trapaleta o carretilla



CONDICIONES DE DISEÑO

Presión diseño	Temperatura diseño
8 bar	95°C

CONEXIONES

- Vaciado - 3/4" Gas F (de 200 a 1000 l)
- Entrada agua fría sanitaria
- Salida a intercambiador externo
- Boca de inspección
- Conexión para termostato - 1/2" Gas F
- Anodo protección catódica - 1"1/4 Gas F
- Conexión para resistencia eléctrica - 1"1/2 Gas F
- Recirculación
- Conexión para termómetro - 1/2" Gas F
- Retorno de intercambiador externo
- Salida agua caliente sanitaria
- Vaciado - 1" Gas F (mayores de 1000 l)

DIMENSIONES

Volumen (litros)	Dimensiones (mm)												Conexiones rosca gas hembra				Peso (kg)
	Df	De	H	A	H1	H2	H3	H4	H7	H8	H9	H10	Ø Interior 5	2-3 / 11-13	14	15	
200	450	550	1.441	1.463	64	316	511	401	751	---	1.041	1.176	220	1"1/4	1"1/4	---	49
300	550	650	1.550	1.578	123	400	595	485	835	---	1.125	1.260	220	1"1/4	1"1/4	---	62
500	650	750	1.841	1.873	114	416	611	501	976	---	1.391	1.526	220	1"1/4	1"1/4	---	85
750	750	850	2.138	2.174	101	433	718	568	1.118	---	1.658	1.793	300	1"1/4	1"1/4	---	118
1.000	850	950	2.192	2.235	89	454	739	739	1.139	---	1.679	1.814	420	1"1/2"	1"1/2"	---	155
1.500	950	1.050	2.498	2.630	107	493	768	778	1.303	---	1.986	2.103	420	1"1/2"	2"	1"	213
2.000	1.100	1.200	2.575	2.560	94	535	935	809	810	2.000	2.000	2.125	420	2"	2"	1"	258
2.500	1.200	1.300	2.712	2.776	122	618	1.018	902	893	2.083	2.083	2.208	420	2"	2"	1"	305
3.000	1.250	1.350	2.919	2.982	138	604	1.004	878	929	2.269	2.319	2.444	420	2"	2"	1"	346
4.000	1.450	1.550	2.925	3.010	114	645	1.045	917	920	2.290	2.260	2.385	420	2"	2"	1"	528
5.000	1.600	1.700	2.959	3.061	92	646	1.046	921	896	2.321	2.271	2.396	420	2"	2"	1"	665



➤ DATOS TECNICOS DEL GRUPO DE BOMBEO

GRUPO HIDRÁULICO DUPLEX

CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS

TIPOLOGÍA	Grupo hidráulico de dos vías con bomba de circulación
TAMAÑO APROXIMADO	294 x 526 x 178 mm
MATERIAL	Latón, sellado de teflón y aislamiento EPP
RANGO DE TEMPERATURA	+110° C (+180° C instantáneo)

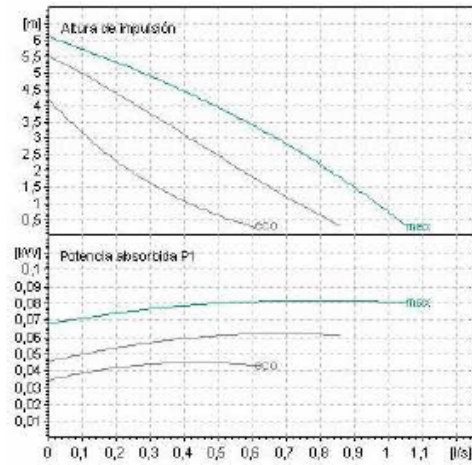
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

DISPOSITIVO DE SEGURIDAD	Válvula de seguridad solar de 6 bar y manómetro
BOMBA DE CIRCULACIÓN OPCIONAL	WILO Star ST20/6 WILO Star ST20/7
PRESIÓN MÁXIMA FUNCIONAMIENTO	10 bar
TERMÓMETROS	En la alimentación y en el retorno
VÁLVULA DE LLENADO Y VACIADO	Sí
VÁLVULA DE RETENCIÓN	Material PPS. Temperatura máxima 180 °C. Desconectable
VÁLVULA DE CIERRE	2 válvulas de bola
CONEXIÓN	Racor de compresión 3/4", 22 mm
CONEXIÓN VASO EXPANSIÓN	Tubo flexible con soporte a pared
TUBO DE DESAGÜE	Sí
ACCESORIOS DE MONTAJE	Incluidos
CAUDALÍMETRO	1 ... 13 l/min
ALIMENTACIÓN	210 ... 250 V
CENTRAL DE CONTROL	ISOCONTROL / ISOCONTROL PLUS
MONTAJE	A pared

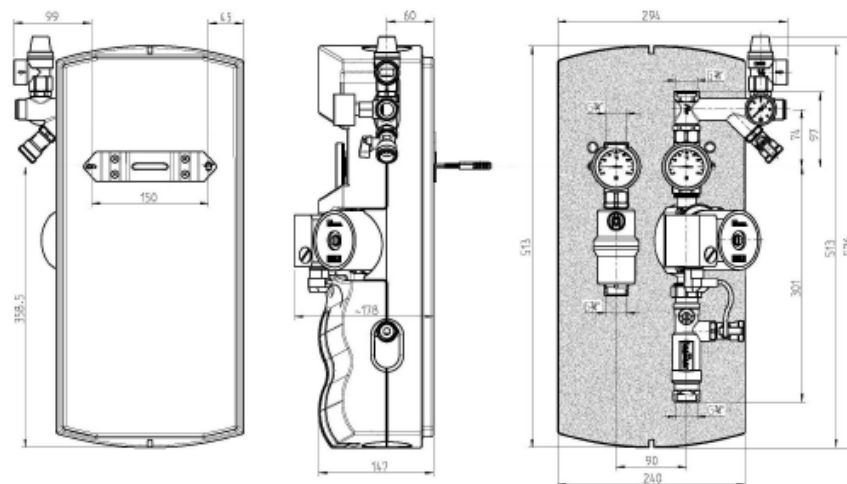




GRUPO DE BOMBEO



DIMENSIONES



➤ DATOS TECNICOS DEL SISTEMA DE CONTROL

CONTROLADOR

ISOCONTROL

CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS

TIPOLOGÍA	Control diferencial
ENTRADAS / SALIDAS	4 / 1
MATERIAL	PC-ABS y PMMA
PROTECCIÓN	IP 20 (DIN 40050)
TEMPERATURA AMBIENTE	0 – 40° C
DIMENSIONES	173 x 110 x 47 mm

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

ENTRADAS	4 sondas de temperatura PT 1000
SALIDAS	1 relé electromecánico (4 A)
PANTALLA DE MONITORIZACIÓN	Visualización simultánea de dos temperaturas en acumulador y salida de captadores
MONTAJE	Pared o panel de conexiones
MANEJO	3 pulsadores frontales
ALIMENTACIÓN	220 – 240 V ~
AUTOCONSUMO	~ 2VA
POTENCIA SUMINISTRO RELÉ	4A, 220 ... 240 V~
FUNCIONES	Manual, automático, OFF programable Refrigeración captadores Limitación T ^a max. Acumulador (2 - 95° C) T ^a límite Captador (110 - 190° C) Contador calorífico Dispositivo antihielo (-10 / 10° C) Reloj horario
ΔT DE ARRANQUE AJUSTABLE	1° - 20° C
ΔT DE PARADA AJUSTABLE	0,5° - 19,5° C
AVISO DE FALLOS	Sí





➤ DATOS TECNICOS DE LA CALDERA

Datos Técnicos

DIVAttech Micro		F24	F32
Potencia			
Gasto Calorífico sobre P.C.I	kW	25,8	34,4
Potencia útil máxima	kW	24	32
Potencia útil mínima	kW	7,2	9,9
Rendimiento			
Rendimiento en Pot. Nominal (80° - 60°C)	%	93	93,1
Rendimiento en Carga reducida (30% Pn)	%	89,7	90,5
Clasificación energética, según 92/42 CEE		***	***
Clase de emisión NOx, según EN 297/A-EN 483		3 (<150 mg/kWh)	3 (<150 mg/kWh)
Alimentación gas			
Consumo máximo Gas Natural	m ³ /h	2,73	3,64
Consumo máximo Gas Propano	Kg/h	2	2,69
Calefacción			
Rango de trabajo	°C	30-85°C	30-85°C
Presión máxima de trabajo	bar	3	3
Válvula de seguridad	bar	3	3
Presión mínima de trabajo	bar	0,8	0,8
Capacidad vaso expansión	l	6	10
Presión precarga vaso expansión	bar	1	1
Contenido de agua en la caldera	l	1	1,2
Sanitario			
Rango de trabajo	°C	40-65°C	40-65°C
Presión máxima de trabajo	bar	9	9
Presión mínima de trabajo	bar	0,25	0,25
Producción A.C.S con ΔT 25°C	l/min	13,7	18,3
Producción A.C.S con ΔT 30°C	l/min	11,4	15,2
Contenido de agua en la caldera	l	1,8	2,2
Clasificación Sanitario según prEN 13203-		***	***
Salida de gases quemados			
Distancia máxima equivalente Ø 60/100 mm	m	5	5
Distancia máxima equivalente Ø 80/125 mm	m	10	10
Distancia máxima equivalente Ø 80 mm		60	48
Alimentación eléctrica			
Máxima Potencia absorbida	W	140	165
Potencia absorbida por circulador calefacción	W	35 / 56 / 80	35 / 58 / 90
Tensión alimentación / Frecuencia	V/Hz	230 / 50	230 / 50
Índice protección eléctrica	IP	X5D	X5D
Peso			
	Kg	31	36

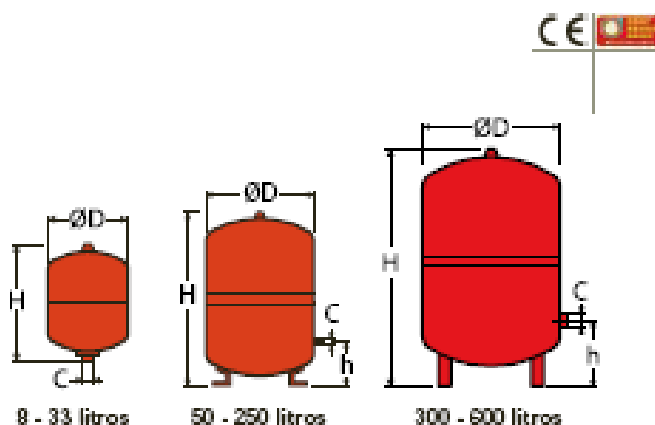
➤ DATOS TECNICOS VASO DE EXPANSION

SISTEMAS DE EXPANSIÓN



"reflex S"

- Para sistemas solares, de calefacción y climatización
- Para líquidos anticongelantes hasta 50%
- Conexiones roscadas
- Membrana no recambiable según DIN 4907. Tª máxima hasta 70°C
- Homologado según directiva 97/23/CE de aparatos a presión
- Color rojo
- Presión inicial 8-33: 1,5 bar
- Presión inicial 50-600: 3,0 bar



MODELO LITROS	C	DIMENSIONES (mm)			PRESIÓN / Tª MÁX. DE TRABAJO	Rojo
		ØD	H	h		
S 8	R 1/4"	206	325	-	10 bar / 120°C	9703900
S 12	R 1/4"	280	300	-		9704000
S 18	R 1/4"	280	380	-		9704100
S 25	R 1/4"	280	500	-		9704200
S 33	R 1/4"	354	450	-		9706200
S 50	R 1/2"	409	469	168		7209500
S 80	R 1"	480	538	166		7210900
S 100	R 1"	480	644	166		7210500
S 140	R 1"	480	886	166		7211500
S 200	R 1"	634	760	205		7213400
S 250	R 1"	634	890	235	10 bar / 120°C	7214400
S 300	R 1"	634	1.060	235		7215400
S 400	R 1"	740	1.070	245		7219000
S 500	R 1"	740	1.290	245		7219100
S 600	R 1"	740	1.530	245		7219200

➤ TABLAS PARA EL CALCULO DE PROPIEDADES DEL GLICOL

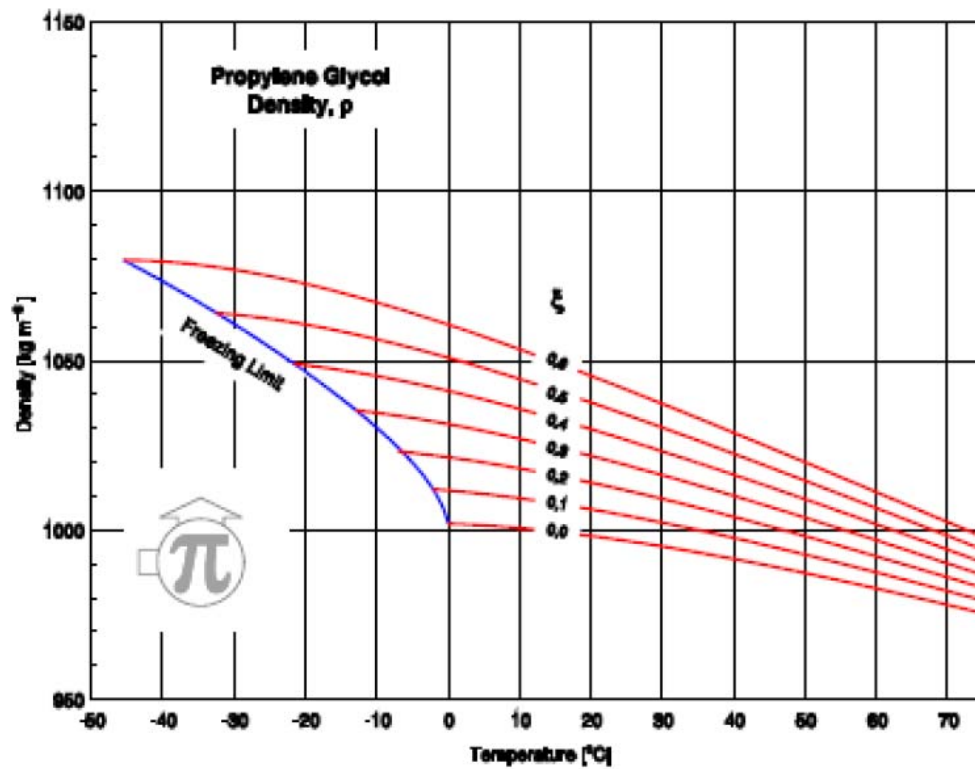


Fig. 7 - Density of aqueous solutions of *PROPYLENE GLYCOL*.

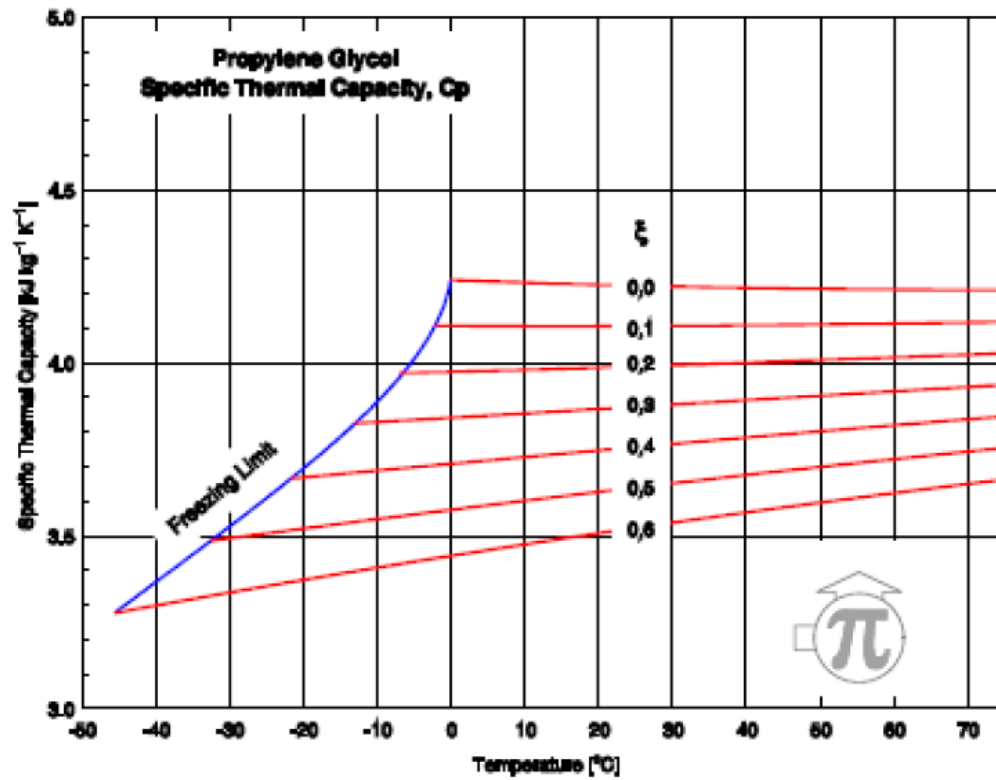


Fig. 8 - Specific thermal capacity of aqueous solutions of *PROPYLENE GLYCOL*.

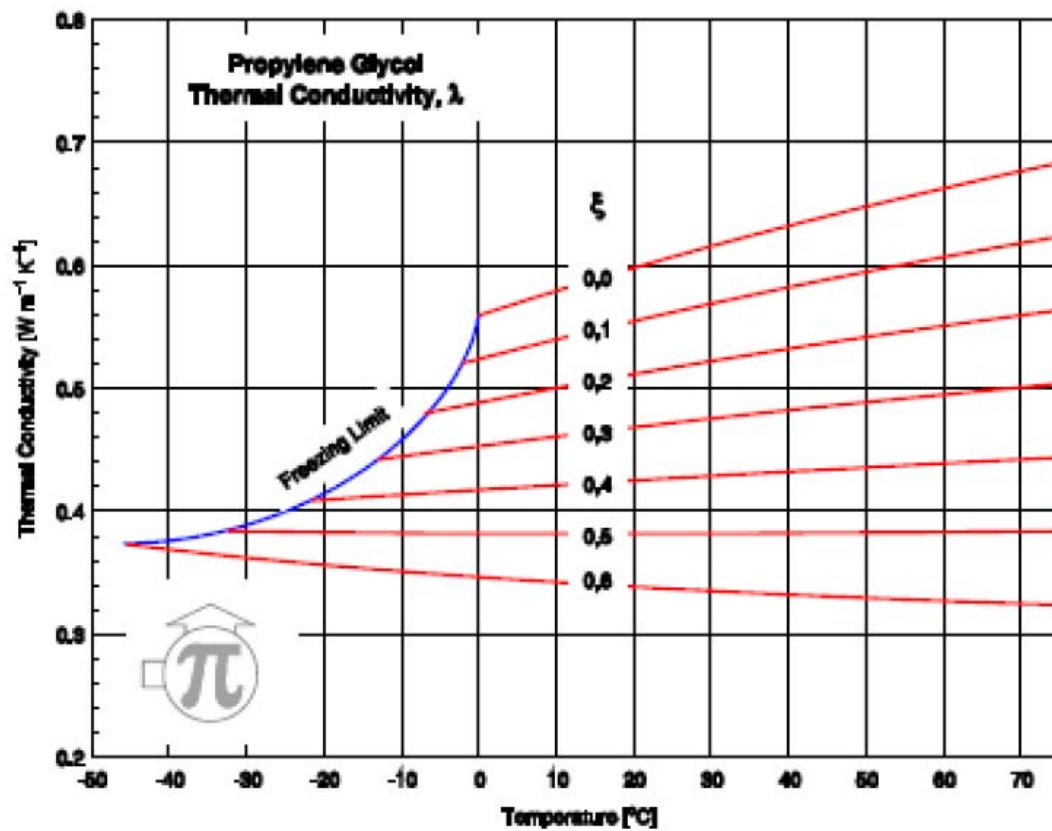


Fig. 9 - Thermal conductivity of aqueous solutions of *PROPYLENE GLYCOL*.

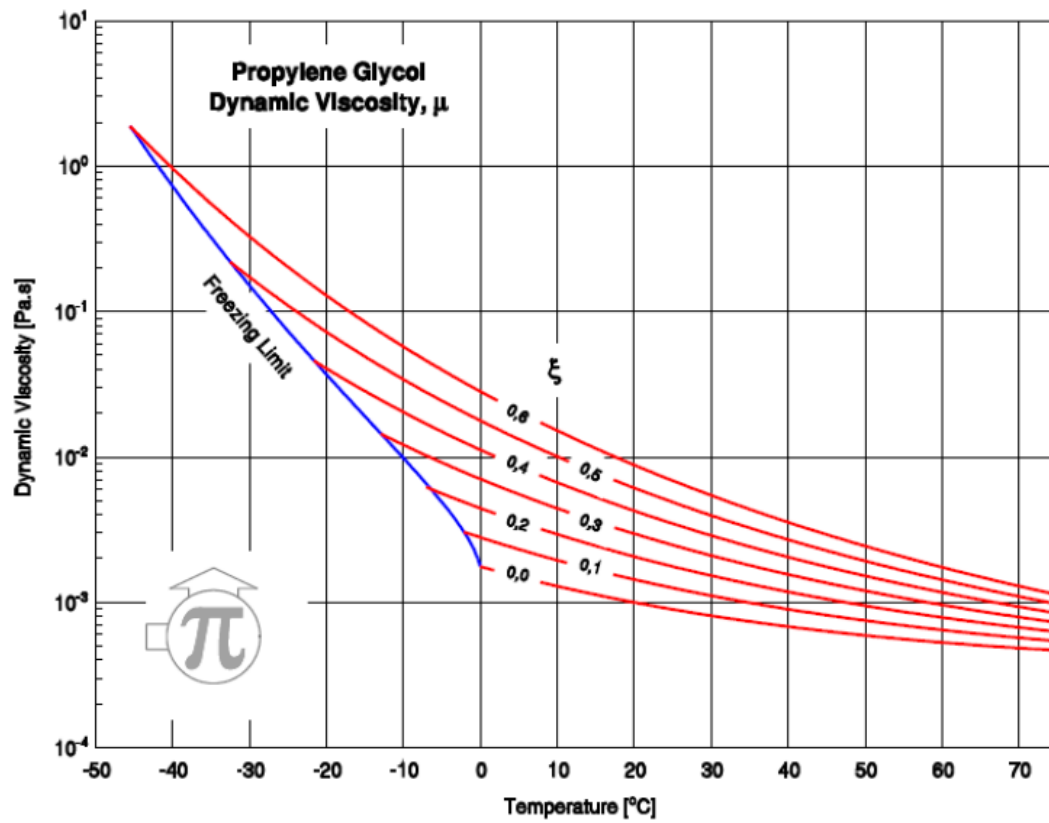


Fig. 10 - Dynamic viscosity of aqueous solutions of *PROPYLENE GLYCOL*.

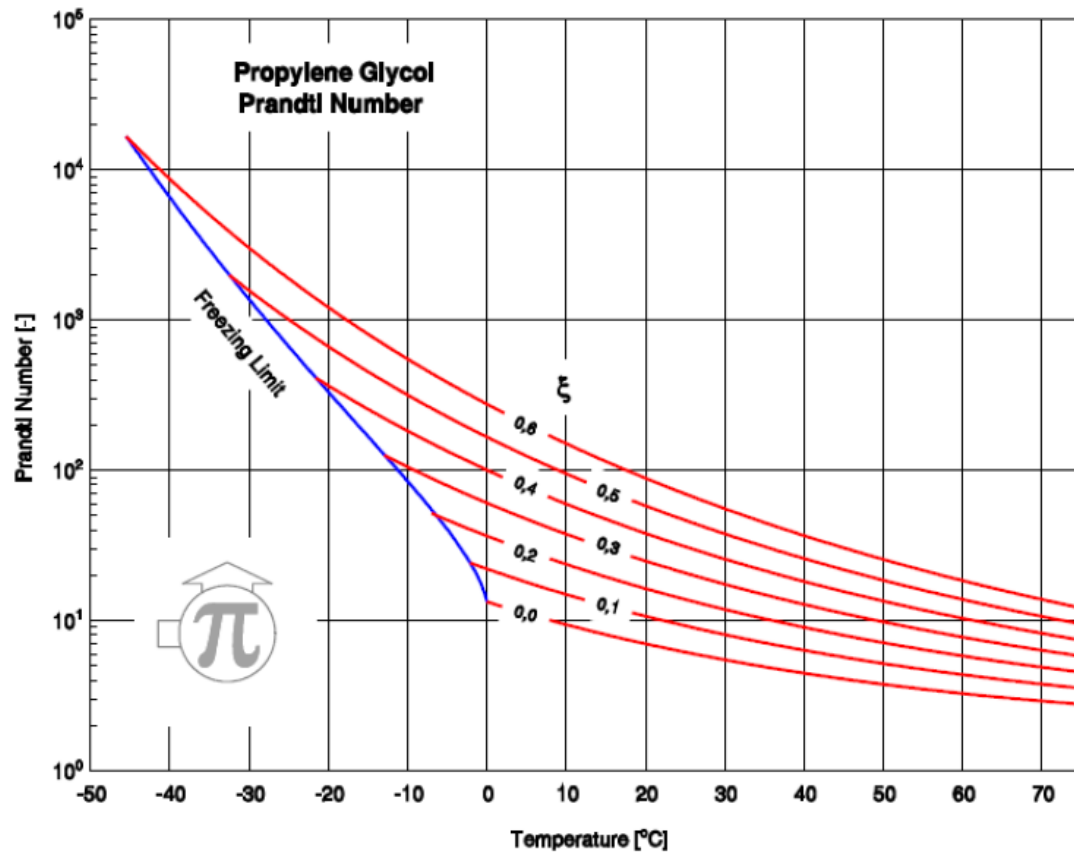


Fig. 11 - Prandtl number of aqueous solutions of *PROPYLENE GLYCOL*.

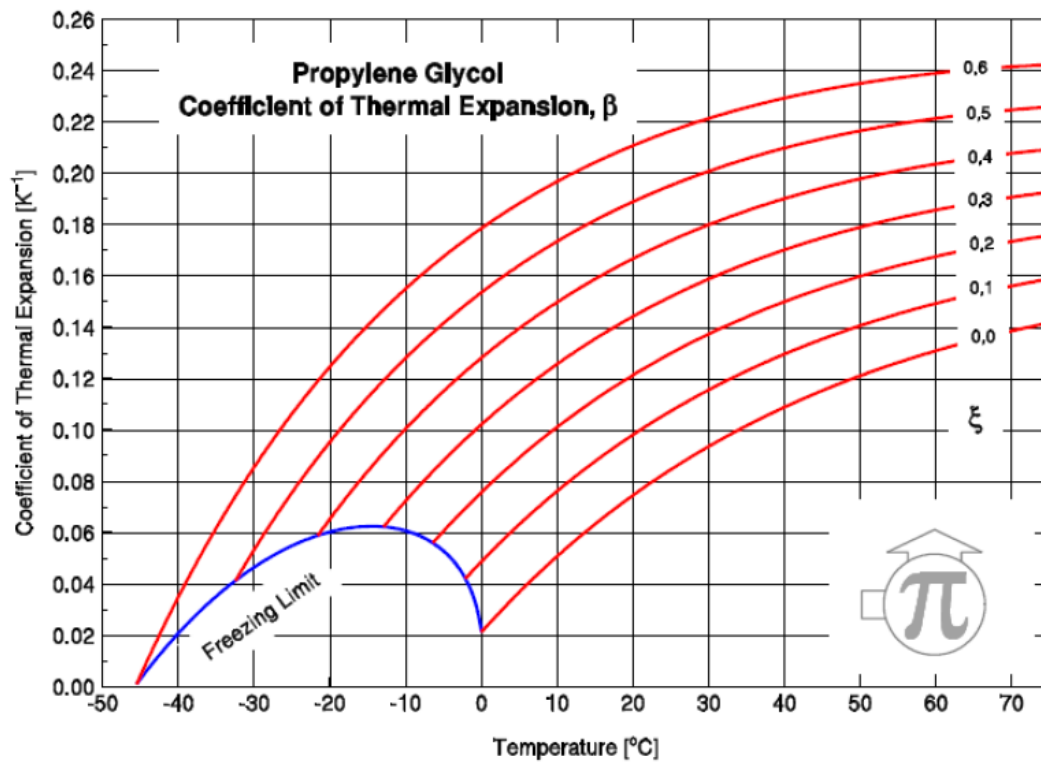
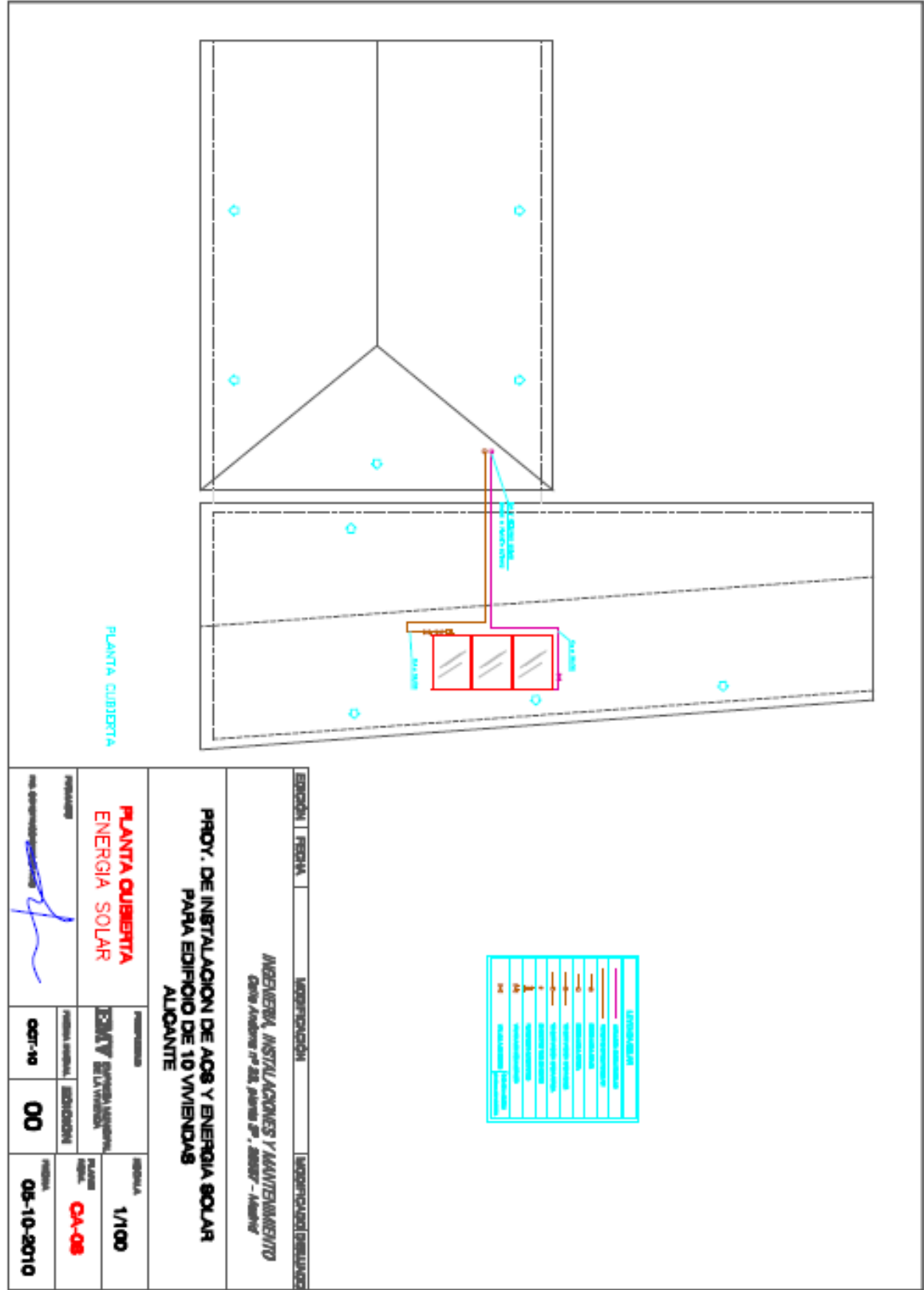


Fig. 12 - Coefficient of thermal expansion of aqueous solutions of *PROPYLENE GLYCOL*.

X. Anexos







➤ PRESUPUESTO DE LA INSTALACION

PRESUPUESTO Y MEDICIONES

INSTALACION SOLAR EN 10 VIVIENDAS EN ALICANTE

CÓDIGO	RESUMEN	UDS	LONGITUD	ANCHURA	ALTURA	PARCIALES	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
CAPÍTULO C01 TUBERIA Y VALVULERIA									
01.01	ml TUBERIA COBRE 20 mm Tubería de cobre de 22 mm. de diametro exterior, i/codos, tapones, sopor- teria, demás accesorios, totalmente instalado según normativa con solda- dura de plata para instalación de enrgia solar.						80,00	8,63	690,40
01.02	Ud VALVULA 3/4" Válvula de interrupción, tipo bola, roscada H-H, para tubería de diámetro 3/4" para alta temperatura.						8,00	13,69	109,52
01.03	Ud PURGADORES Instalación de purgador solar para aire en puntos altos de la instalación.						2,00	32,80	65,60
01.04	Ud AISLAMIENTO TERMICO Aislamiento en coquilla armaflex de 20 mm. de espesor, para tubería de cobre de diámetro 22 mm., totalmente instalado.						80,00	5,61	448,80
01.05	Ud TERMOMETROS Suministro e instalación de termómetro, salida vertical, con escala: , com- pleto de accesorios de montaje.						4,00	36,84	147,36
01.06	Ud MANOMETROS Suministro e instalación de manómetro, con caja ABS, tipo 63 1/4", salida radial o posterior, con escala: , completo de accesorios de montaje.						2,00	15,90	31,80
01.07	Ud FILTRO 3/4" Suministro e instalación de filtro de agua para tubería de 3/4" roscado, marca MAW o similar, construido en hierro fundido y tamiz de acero inoxi- dable.						1,00	21,39	21,39
01.08	Ud VALVULA DE RETENCION 3/4" Válvula de retención roscada de diámetro 3/4", totalmente instalada.						1,00	13,20	13,20
01.09	Ud LLENADO INSTALACION SOLAR Sistema de llenado para el circuito primario de la instalación solar, inclu- yendo contador, valvulas de corte, de retención filtro, incluso accesorios.						1,00	402,40	402,40
TOTAL CAPÍTULO C01 TUBERIA Y VALVULERIA									1.930,47

PRESUPUESTO Y MEDICIONES

INSTALACION SOLAR EN 10 VIVIENDAS EN ALICANTE

CÓDIGO	RESUMEN	UDS	LONGITUD	ANCHURA	ALTURA	PARCIALES	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
CAPÍTULO C02 EQUIPOS									
02.01	Ud PANEL SOLAR ISOFOTON Suministro y montaje de panel solar marca ISOFOTON modelo ISOT-HERM PLUS, de 2,05 m2 de apertura.						3,00	441,20	1.323,60
02.02	Ud SOPORTERIA Suministro y montaje de soporteria para paneles solares en bateria de 3 paneles, para cubierta inclinada. Incluso anclaje y accesorios						3,00	145,15	435,45
02.03	Ud INTERCAMBIADOR DE PLACAS SUICALSA Suministro y montaje de intercambiador de placas marca SUICALSA modelo IPT-0601-30/30 de 30 placas para circuito primario de energia solar.						1,00	621,20	621,20
02.04	Ud DEPOSITO ACUMULADOR 750L Suministro y montaje de deposito acumulador de 750 L aislado para interior, marca SUICALSA o similar, con valvula de seguridad y accesorios de montaje, conectado hidraulicamente.						1,00	933,60	933,60
02.05	Ud DEPOSITO ACUMULADOR 250L Suministro y montaje de deposito acumulador de 750 L aislado para interior, marca SUICALSA o similar, con valvula de seguridad y accesorios de montaje, conectado hidraulicamente.						1,00	503,60	503,60
02.06	Ud VASO DE EXPANSION 250L Suministro y montaje de vaso de expansión de 250L adecuado para alta temperatura para circuito solar, marca SEDICAL o similar modelo S250. incluso soportacion y accesorios, valvula de seguridad y vaciado.						1,00	301,80	301,80
02.07	Ud GRUPO DE BOMBEO SOLAR Grupo de bombeo para circuito primario de energia solar marca ISOFO-TON con bomba, elementos de medida de presion y temperatura, montaje y conexionado a tuberias						1,00	396,80	396,80
02.08	Ud BOMBA CIRCULACION SOLAR Suministro y montaje de bomba circuladora en circuito secundario solar.						1,00	276,80	276,80
02.09	Ud AEROTERMO Suministro y montaje de aerotermo para disipar la energia sobrante en el circuito solar, conexionado a red de tuberias y con soportacion						1,00	501,80	501,80
TOTAL CAPÍTULO C02 EQUIPOS									5.294,65

PRESUPUESTO Y MEDICIONES

INSTALACION SOLAR EN 10 VIVIENDAS EN ALICANTE

CÓDIGO	RESUMEN	UDS	LONGITUD	ANCHURA	ALTURA	PARCIALES	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
CAPÍTULO C03 INSTALACION ELECTRICA Y REGULACION									
03.01	Ud ALIMENTACION ELECTRICA A BOMBAS Instalacion de alimentacion electrica a bombas de primario y secundario de energia solar desde cuadro de proteccion.						2,00	95,75	191,50
03.02	Ud ALIMENTACION ELECTRICA AEROTERMO Instalacion de alimentacion electrica para aerotermo desde cuadro de proteccion.						1,00	54,82	54,82
03.03	Ud INSTALACION DE CONTROL SOLAR Montaje de centralita solar e instalación de los elementos de control y conexionado de los mismos (sondas de temperatura, señales de arranque y paro de bombas).						1,00	353,80	353,80
TOTAL CAPÍTULO C03 INSTALACION ELECTRICA Y REGULACION									600,12

PRESUPUESTO Y MEDICIONES

INSTALACION SOLAR EN 10 VIVIENDAS EN ALICANTE

CÓDIGO	RESUMEN	UDS	LONGITUD	ANCHURA	ALTURA	PARCIALES	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
CAPÍTULO C04 LEGALIZACION									
04.01	Ud LEGALIZACION DE LA INSTALACION								
	Tasas de legalizacion de la instalacion ante el organismo correspondiente.								
							1,00	291,30	291,30
	TOTAL CAPÍTULO C04 LEGALIZACION.....								291,30
	TOTAL.....								8.116,54